

# 7. Hessische Schülerakademie

## Oberstufe

24. Juli – 5. August 2011

– Schulpraktikum / Lehrerfortbildung –

## Dokumentation

Herausgegeben von:

Cynthia Hog-Angeloni, Wolfgang Metzler  
und Birthe Anne Wiegand

Eine Veröffentlichung der

Hessischen Heimvolkshochschule  
**BURG FÜRSTENECK**

Akademie für berufliche und  
musisch-kulturelle Weiterbildung

Am Schlossgarten 3  
36132 Eiterfeld

Diese Dokumentation ist erhältlich unter:  
<http://www.hsaka.de>

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Grußwort</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Mathematikkurs</b>	<b>7</b>
3.1	Klassische Verschlüsselungsverfahren . . . . .	7
3.2	Restklassenrechnung . . . . .	9
3.3	Gruppen, Ringe und Körper . . . . .	11
3.4	RSA-Verschlüsselung . . . . .	13
3.5	Primzahltests . . . . .	15
3.6	Faktorisierung . . . . .	16
3.7	Affine Kurven . . . . .	18
3.8	Projektive Kurven . . . . .	19
3.9	Elliptische Kurven . . . . .	21
3.10	Alternativen zu RSA . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Physikkurs</b>	<b>25</b>
4.1	Geometrische Optik . . . . .	25
4.2	Hohlspiegel und Brechung . . . . .	27
4.3	Totalreflexion . . . . .	30
4.4	Fermat'sches Prinzip, Linse, Brennweite und gekrümmte Strahlen . . . . .	31
4.5	Optische Instrumente . . . . .	33
4.6	Abbildungsfehler und das Mikroskop . . . . .	36
4.7	Optische Gitter und die Bragg-Gleichung . . . . .	38
4.8	Das Huygens'sche Prinzip . . . . .	40
4.9	Interferenz und Beugung . . . . .	42
4.10	Auflösung von Mikroskopen . . . . .	43
4.11	Polarisation von Licht . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Biologiekurs</b>	<b>48</b>
5.1	Neurobiologische Grundlagenforschung im Rahmen der Hessischen Schülerakademie . . . . .	48
5.2	Mentale Fitness durch Lernen und Bewegung . . . . .	51
5.3	Optische Täuschung - Eine Reise in die Welt der visuellen Wahrnehmung . . . . .	52
5.4	Evolution und Diversität von Nervensystemen und Intelligenz . . . . .	54
5.5	Aufmerksamkeit und Konzentration als neurobiologische Phänomene . . . . .	56
5.6	Motivation manipulieren . . . . .	58
5.7	Das süchtige Gehirn - Drogen und ihre Auswirkungen auf das Gehirn . . . . .	59
5.8	Das emotionale Gehirn - Spiegelneuronen und Autismus . . . . .	61
5.9	Löcher in der Membran: Molekülsonden zur Erforschung von Ionenkanälen . . . . .	62
5.10	Vom Tiergift zur neuen Schmerztherapie - Synapsen und Neurotransmitter . . . . .	64

<b>6</b>	<b>Geschichtskurs</b>	<b>67</b>
6.1	Einleitende Sitzung . . . . .	67
6.2	Geschichte als Wissenschaft . . . . .	68
6.3	Geschichtsverständnis . . . . .	68
6.4	Quellenbegriff . . . . .	69
6.5	Quellenüberlieferung . . . . .	69
6.6	Quellenkritik, Teil I . . . . .	71
6.7	Quellenkritik, Teil II . . . . .	72
6.8	Begriffsgeschichte . . . . .	73
6.9	Alterität und Modernität, Teil I . . . . .	75
6.10	Alterität und Modernität, Teil II . . . . .	76
6.11	Fälschungen im Mittelalter . . . . .	77
6.12	Periodisierung . . . . .	79
6.13	Authentizität . . . . .	80
6.14	Kulturkontakte . . . . .	81
6.15	Fortschrittsparadigma . . . . .	82
6.16	Identität und Exklusion . . . . .	83
6.17	Abschließende Sitzung . . . . .	84
<b>7</b>	<b>Kursübergreifende Angebote</b>	<b>85</b>
7.1	Chor . . . . .	85
7.2	Kontratanz . . . . .	85
7.3	Instrumentalmusik . . . . .	85
7.4	Englisches Theater . . . . .	86
7.5	Bühnenbild . . . . .	86
7.6	Sport . . . . .	87
7.7	Fürstenecker Überraschungs-Ei . . . . .	88
7.8	Yoga . . . . .	88
7.9	Naturkunde . . . . .	89
7.10	Rhythmus muss! . . . . .	89
7.11	Jazzdance . . . . .	90
7.12	Italienisch . . . . .	90
7.13	Spieltheorie . . . . .	91
7.14	Akademiezeitung . . . . .	91
<b>8</b>	<b>Interdisziplinäre Vorträge</b>	<b>92</b>
8.1	Musik nach 1900 und Improvisation . . . . .	92
8.2	Mathematik - Eine alte Wissenschaft mit Zukunft . . . . .	94

<b>9 Gästenachmittag</b>	<b>96</b>
<b>10 Pressebericht</b>	<b>97</b>
<b>11 Auszüge aus Abschlussberichten</b>	<b>98</b>
<b>12 Teilnehmende</b>	<b>100</b>
12.1 Leitung . . . . .	100
12.2 Studierende . . . . .	100
12.3 Schülerinnen und Schüler . . . . .	100

## 1 Vorwort

Wenn Sie diese Dokumentation der *Hessischen Schülerakademie Oberstufe 2011* in Händen halten, können wir ein 10-jähriges Jubiläum begehen. Im Jahr 2002 begann nämlich die Vorarbeit mit einem pädagogischen Ferienseminar, welches sich mit notwendigen Schritten nach dem Pisa-Schock und zu Beginn der Einführung neuer Studienstrukturen an den Hochschulen beschäftigte. Nach zwei Jahren intensiver Gespräche und Verabredungen konnte eine erste Hessische Schülerakademie 2004 realisiert werden; und nach weiteren zwei Jahren standen diese Akademien personell und finanziell auf sicheren Beinen. Sie wenden sich an begabte und interessierte SchülerInnen und fördern diese in einem integrierten Konzept aus wissenschaftlichen und musisch-kulturellen Inhalten, welches zugleich einen inhaltlichen Beitrag zu Lehrer- Aus- und Weiterbildung leistet. Alle Förderer betrachten „unsere“ Akademien inzwischen als eins ihrer programmatischen „Highlights“.

Aus Engagement entsteht dabei personelle Kontinuität: So hat StR. Thomas Busold bei dem Vorbereitungsseminar 2011 einen Vortrag über „Begabung und Hochbegabung - pädagogische Konzepte“ gehalten. Er hat an der ersten Akademie noch als Student teilgenommen. MinRat W. Diehl vom Hessischen Kultusministerium, der uns von Anfang an und in der aktuellen Wirtschaftslage besonders wichtigen Rat und Hilfe angedeihen lässt, steuerte das Referat „Begabtenförderung und individuelle Förderung in Hessen“ bei. Ebenso unverzichtbar sind die Unterstützung des Präsidiums der Universität Frankfurt/Main und des Amtes für Lehrerbildung (siehe das nachstehende Grußwort von Direktor Frank Sauerland). Ehemalige SchülerInnen arbeiten 2012 verstärkt als Studierende oder angehende LehrerInnen bei der Betreuung mit. Dies betrifft z. B. Georg Bube, der uns überdies im letzten Moment bei der Korrektur dieser Dokumentation vor Fehlern bewahrte. Wer die Akademie als Schulpraktikum mitmacht, äußert sich nachträglich, dass sie/er diese trotz des anstrengenden Zeitplans biographisch nicht missen möchte (s. die Ausschnitte aus den entsprechenden Berichten).

Die Schülerakademien fördern nicht nur die fachliche Kompetenz sondern darüber hinaus interdisziplinäre Einsichten und das bürgerschaftliche Engagement. In diesem Jahr diente dem Ziel u. a. ein mathematischer Abendvortrag, der nicht zuletzt die ästhetische Seite der Disziplin hervorhob sowie ein musikalischer, der bei ersten Höreindrücken oft überhörte handwerkliche Prinzipien betonte. Und ohne Bürgersinn würden Schülerakademien nicht entstehen bzw. sofort wieder sterben. Solche Elemente des Konzepts sind nicht verhandel- bzw. reduzierbar, so sehr wir uns bemühen, aus Rückäußerungen zu lernen.

Viele Bitten und Rückäußerungen hatten zum Inhalt, die Oberstufenakademie für jüngere SchülerInnen zu öffnen. Das war nur ausnahmsweise möglich und führte dazu, sich seit zwei Jahren um die Realisierung einer *Hessischen Schülerakademie Mittelstufe* zu bemühen. Mit einem für die Klassen 7 - 9 modifizierten Programm und einem eigenen Team unter Leitung von Ferenc Kréti hat diese Akademie in den Herbstferien 2011 zum ersten Mal und mit großem Erfolg stattgefunden. Die Langzeitabsicherung der Mittelstufenakademie steht noch aus (s. die eingangs gemachten Bemerkungen über die Genese der Oberstufenakademie); aber die inhaltsreiche zugehörige Dokumentation und die Ankündigungen der Burg für das Jahr 2012 sind ebenfalls unter [www.hsaka.de](http://www.hsaka.de) nachlesbar. Zur Zeit entsteht ferner ein *Kuratorium Hessische Schülerakademien*, durch welches die *Hessische Heimvolkshochschule Burg Fürsteneck* u. a. Unterstützung für die Weiterentfaltung beider Akademien erhalten möchte; dabei sollen bisher beteiligte Personen und über diese ihre Institutionen eingebunden werden.

Allen Teilnehmenden an der Akademie 2011, unseren Förderern und allen, die zu der vorliegenden Dokumentation beigetragen haben, danken wir herzlich.

Frankfurt/Main, im November 2011

Cynthia Hog-Angeloni, Wolfgang Metzler und Birthe Anne Wiegand

## 2 Grußwort



### Grußwort des Direktors des Amtes für Lehrerbildung für die Hessische Schülerakademie 2011

Die Hessische Schülerakademie findet in diesem Jahr zum siebten Mal statt. Sie ist also längst den Kinderschuhen entwachsen und zu einer festen Größe geworden. Das spricht für ihre Qualität. Es ist auch eine Bestätigung für die Personen und die Einrichtungen, die sie 2004 aus der Taufe gehoben und seither ausgerichtet haben. Sie haben mit der Schülerakademie etwas geschaffen, das aus der großen Menge der Angebote herausragt und viel Anklang findet. Aber was ist eigentlich das Geheimnis ihres Erfolgs?

Ganz allgemein liegt es wahrscheinlich in erster Linie darin, dass alle Beteiligten von der Schülerakademie wirklich etwas haben. Die Schülerinnen und Schüler lernen in den Kursen in der Mathematik, der Physik, der Biologie und der Geschichte die gedanklichen Grundlagen und die Verfahren der natur- und geisteswissenschaftlichen Forschung mit einer Eindringlichkeit kennen und verstehen, die sonst im Schulunterricht nur im Ausnahmefall möglich ist. Die kursübergreifenden Angebote gewähren dafür gleichsam einen musisch-kulturellen Ausgleich, und das gemeinschaftliche Leben während zweier Wochen erlaubt neue Einsichten auf sozialem Gebiet. Bei der Persönlichkeitsbildung der Schülerinnen und Schüler kommt die Hessische Schülerakademie also dem ganzheitlichen Ideal recht nahe, das schon der Reformpädagoge Kurt Hahn (der Gründer der Schlossschule Salem) mit seinen „Kurzschulen“ vor Augen hatte.

Die Studierenden, die Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst und die übrigen Betreuer erhalten mit der Schülerakademie die Gelegenheit, mit überaus leistungsfähigen und leistungswilligen Schülerinnen und Schülern zu arbeiten und Erfahrungen mit den passenden Unterrichtsmethoden zu sammeln. Die Lehrerbildnerinnen und Lehrerbildner an den Hochschulen schließlich können ihren Studierenden mit der Schülerakademie (einschließlich der aufwendigen Vor- und Nachbereitung) in einer Tiefe und Breite Einblicke in den Lehrerberuf geben, wie sie sich im hochschulischen Teil der Ausbildung und bei den Schulpraktischen Studien ansonsten höchstens von Fall zu Fall ergeben. Kurz: Die Akademie ist für alle ein Gewinn, und das ist das Geheimnis ihres Erfolgs.

Ich wünsche der siebten Hessischen Schülerakademie den gleichen guten Verlauf, wie ihn ihre Vorgängerinnen genommen haben, und allen, die an ihr mitwirken, zwei Wochen mit interessanten Eindrücken und Erfahrungen.

Frank Sauerland

## 3 Mathematikkurs

### Zahlentheorie und die moderne Informationsgesellschaft

Zahlentheorie ist eine der ältesten mathematischen Disziplinen und sicherlich über 4000 Jahre alt. Trotz ihres hohen Alters ist sie aber keine abgeschlossene Wissenschaft. Sowohl vom Wissen als auch vom Unwissen der Zahlentheorie profitiert die moderne Nachrichtenverschlüsselung - die Kryptologie. Dort entwickelt man mit Hilfe der Zahlentheorie Verschlüsselungsverfahren, mit denen man Nachrichten sicher durch das Internet schickt. Dass diese modernen Verfahren tatsächlich sicher sind, beruht in erster Linie darauf, dass die Zahlentheorie auf bestimmte Fragen (noch?) keine Antworten hat.

### Kursleitung

*Dr. Amir Džambić*, Akademischer Rat am Fachbereich Informatik und Mathematik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/M.

*Dr. Cynthia Hog-Angeloni*, Akademische Rätin für Mathematik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, nebenberuflich an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/M.

### 3.1 Klassische Verschlüsselungsverfahren

Alina Braun  
Betreuerin: Saskia Groh

#### Chiffrierungssysteme von Gaius Julius Cäsar (100-44 v. Chr.) bis zum Kerkhoffs'schen Prinzip (1883)

Wie kann man eine Nachricht „sicher“ übermitteln, sodass nur der berechtigte Empfänger sie lesen kann? Der Zweig der Mathematik, der sich mit dieser Frage beschäftigt, heißt Kryptographie (altgr. *kryptós* = geheim, *gráphein* = schreiben). Dabei wird ein Klartext mit Hilfe eines Verschlüsselungsverfahrens in einen Geheimentext umgewandelt.

Kryptographie ist die „Anwendung mathematischer Verfahren, um Techniken und Algorithmen zu entwickeln, welche die Sicherheit der Daten schützen.“ (Gabler Wirtschaftslexikon)

„Die Mathematik liefert die theoretische Rechtfertigung für die Stärke dieser Verfahren. Deshalb haben kryptographische Algorithmen die höchsten Sicherheitsniveaus und werden im Zweifel anderen Sicherheitsmechanismen vorgezogen: In dubio pro mathematica!“ (Beutelspacher)

Die ersten Verschlüsselungsmethoden kann man unterteilen in monoalphabetische und polyalphabetische Verfahren.

#### Monoalphabetische Chiffrierung

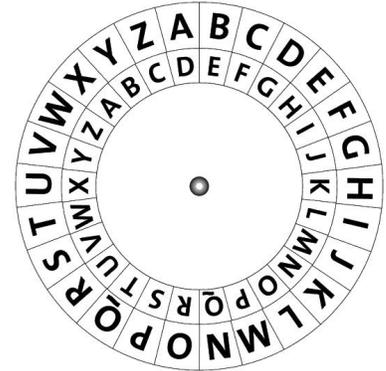
Eine Chiffrierung heißt monoalphabetisch, wenn jeder Buchstabe des Alphabets immer eindeutig demselben Symbol oder Buchstaben zugeordnet wird. Wenn eine Nachricht (Klartext) und ihr verschlüsselter Geheimentext über dem selben Alphabet definiert sind, so handelt es sich bei dem Geheimentextalphabet der monoalphabetischen Chiffrierung um eine Permutation der Buchstaben des benutzten Alphabets. Permutation bedeutet eine beliebige „Umordnung“ der Elemente einer Menge (bijektive Abbildung), d.h. jedem Buchstaben des Klartextalphabets wird eindeutig ein Buchstabe des Geheimentextalphabets zugeordnet und umgekehrt. Eine  $n$ -elementige Menge hat genau  $n!$  Permutationen. Bei einer monoalphabetischen Chiffrierung über dem natürlichen Alphabet  $\{a, b, c, \dots, z\}$  gibt es  $26! \approx 4 \cdot 10^{26}$  Möglichkeiten.

Ein Problem bei dieser Chiffrierung ist der Schlüsselaustausch, da Sender und Empfänger ihn beide kennen müssen, und dessen Geheimhaltung. Außerdem ergibt sich bei der monoalphabetischen Chiffrierung über natürlichen Sprachen immer eine Häufigkeitsverteilung der Buchstaben des Alphabets (so ist „e“ zum Beispiel der häufigste Buchstabe in der deutschen Sprache). Damit kann der Geheimtext entschlüsselt werden.

### *Cäsar-Chiffre*

Diese Art der Chiffrierung geht auf Gaius Julius Cäsar (100-44 v.Chr.) zurück.

Das Alphabet kann um eine beliebige Anzahl an Stellen verschoben werden. Für das natürliche Alphabet ergeben sich 26 solcher Chiffrierungen. Mathematisch betrachtet ist der Schlüssel eine Zahl  $t$  ( $t \in \mathbb{N} : 0 \leq t \leq 25$ ), wobei  $t$  die Anzahl der Verschiebung ist und für einen Text immer konstant bleibt. Die Chiffrierung wird beschrieben durch  $(x + t) \bmod 26$ , wobei  $x$  die Nummer des Klartextbuchstabens ist. Die Dechiffrierung ergibt sich als  $(y - t) \bmod 26$ , wobei  $y$  die Nummer des Geheimtextbuchstabens ist. (Zur Erläuterung der Notation siehe 3.2.)



Weitere monoalphabetische Verfahren sind die Multiplikations- und die Tauschchiffre.

## **Polyalphabetische Chiffrierung**

Ziel dieser Chiffrierung ist das Angleichen der Häufigkeit der Geheimtextbuchstaben. Einem Klartextbuchstaben wird dabei eine Menge Geheimtextzeichen zugeordnet, oder es werden mehrere Geheimtextalphabete verwendet. Dabei muss die Dechiffrierung eindeutig bleiben. Das Problem des Schlüsselaustausches und dessen Geheimhaltung bleibt bestehen, aber eine Häufigkeitsanalyse wird erschwert.

### *Vigenère-Chiffre*

Die Vigenère-Chiffre wurde 1586 von dem französischen Diplomaten Blaise de Vigenère (1523-1596) veröffentlicht. Die Vigenère-Verschlüsselung ist der Prototyp für viele Algorithmen, die bis heute professionell benutzt werden. Der Schlüssel bei der Vigenère-Chiffre ist ein Wort. Dieses Schlüsselwort schreibt man wiederholt über den Klartext und verschlüsselt jeden Buchstaben der Nachricht mit der Cäsar-Chiffre, wobei man ausgehend vom Schlüsselwort für jeden Buchstaben ein anderes Geheimtextalphabet benutzt. Ist der Buchstabe des Schlüsselworts zum Beispiel ein  $B$ , würde man  $t = 2$  wählen und den darunterstehenden Buchstaben des Klartexts damit verschlüsseln. Der Empfänger der Nachricht benötigt das Schlüsselwort, um den Geheimtext wieder zu entschlüsseln.

Eine weitere polyalphabetische Verschlüsselungsmethode ist die Homophone Chiffrierung.

1883 wurde das Prinzip von Kerckhoffs veröffentlicht: „Die Sicherheit eines Kryptosystems darf nicht von der Geheimhaltung des Algorithmus abhängen. Die Sicherheit gründet sich nur auf die Geheimhaltung des Schlüssels.“ (La cryptographie militaire, Beutelspacher) Ziel der modernen Kryptographie ist es somit, Verfahren zu entwickeln, die ohne den Schlüssel nicht dechiffriert werden können, obwohl der verwendete Algorithmus bekannt ist.

Man klassifiziert nach drei verschiedene Attacken, gegen die das System geschützt sein soll:

1. Angriff mit bekanntem Geheimtext (known ciphertext attack): Dem Angreifer ist ein relativ großes Stück Geheimtext bekannt.

2. Angriff mit bekanntem Klartext (known plaintext attack): Der Angreifer kennt ein Stück von zusammengehörigem Klartext/Geheimtext (er kann es z.B. aus einem ihm bekannten Kontext erschließen).
3. Angriff mit frei gewähltem Klartext (chosen plaintext attack): Der Angreifer kennt den Verschlüsselungsalgorithmus. Um den Schlüssel zu erhalten, kann er selbstgewählte Stücke Klartext verschlüsseln und versuchen, aus dem sich ergebenden Geheimtext Rückschlüsse auf die Struktur des Schlüssels zu ziehen.

### Quellen

- Beutelspacher, Albrecht; 2009: Kryptologie. Eine Einführung in die Wissenschaft vom Verschlüsseln, Verbergen und Verheimlichen. 9. Auflage; Vieweg und Teubner: Wiesbaden
- Frauke's Weblog: Internet: <http://fraukekikul.files.wordpress.com/2008/01/caesar-scheibe1.gif>; letzter Zugriff: 05.07.2011
- Gabler Wirtschaftslexikon: Kryptographie. Internet: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/kryptographie.html>; letzter Zugriff: 04.07.2011

## 3.2 Restklassenrechnung

Maxim Gerspach  
Betreuerin: Alexandra Walter

### Nomenklatur

$a$  und  $b$  heißen *kongruent modulo  $m$* , geschrieben  $a \equiv b \pmod{m}$ , wenn  $a$  und  $b$  bei Division durch  $m$  denselben Rest ergeben - also wenn gilt:  $m|(a-b)$ . Man sagt dann, dass  $a$  sich in derselben Restklasse wie  $b$  befindet.

Es sei  $[a]_m$  die Restklasse der ganzen Zahl  $a$  modulo  $m$ .  $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$  sei die Menge aller Restklassen modulo  $m$ . Für  $m \neq 0$  ist  $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z} = \{[0], [1], \dots, [m-1]\}$ . Dagegen ist  $\mathbb{Z}/0\mathbb{Z} = \mathbb{Z}$ . Addition und Multiplikation sind folgendermaßen definiert:  $[a] + [b] = [a+b]_m$  und  $[a] \cdot [b] = [a \cdot b]_m$ .

Zu  $a, b \in \mathbb{Z}$ , die nicht beide 0 sind, existiert ein größter gemeinsamer Teiler, der mit  $ggT(a, b)$  bezeichnet wird

Seien  $a, b \in \mathbb{Z}$ ,  $m \in \mathbb{N}$  und  $ggT(a, m) = 1$  sowie  $a \equiv b \pmod{m}$ . In diesem Fall wird  $[a]_m$  als *prime Restklasse* modulo  $m$  bezeichnet. Die Menge aller primen Restklassen modulo  $m$  heißt  $(\mathbb{Z}/m\mathbb{Z})^*$ .

### Rechengesetze

In  $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$  gelten die bereits von den ganzen Zahlen her bekannten Ringaxiome:

1. Assoziativgesetz:  $([a] + [b]) + [c] = [a] + ([b] + [c])$  sowie  $([a] \cdot [b]) \cdot [c] = [a] \cdot ([b] \cdot [c])$
2. Existenz des neutralen Elements der Multiplikation und Addition:  $\exists [0], [1]$  mit  $[a] + [0] = [a]$  und  $[a] \cdot [1] = [a]$
3. Existenz des inversen Elements der Addition:  $\exists [x] \in \mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$  mit  $[a] + [x] = [0]$
4. Kommutativgesetz:  $[a] + [b] = [b] + [a]$  und  $[a] \cdot [b] = [b] \cdot [a]$
5. Distributivgesetz:  $([a] + [b]) \cdot [c] = [a] \cdot [c] + [b] \cdot [c]$

### Teilbarkeit

„ $a$  teilt  $n$ “, falls es ein  $b \in \mathbb{Z}$  gibt mit  $n = a \cdot b$ . Man schreibt  $a|n$ , das heißt  $n \equiv 0 \pmod{a}$ . Falls  $a$  kein Teiler von  $n$  ist, so schreibt man  $a \nmid n$ .

Es gilt Folgendes  $\forall a, b, c, \alpha, \beta \in \mathbb{Z}$ :

1.  $a|b$  und  $b|c \Rightarrow a|c$
2.  $a|b \Rightarrow ac|bc$
3.  $a|b$  und  $b|a \Rightarrow |a| = |b|$
4.  $a|b$  und  $b \neq 0 \Rightarrow |a| \leq |b|$
5.  $c|a$  und  $c|b \Rightarrow c|(\alpha a + \beta b)$

### Der Euklidische Algorithmus

Möchte man den größten gemeinsamen Teiler zweier ganzer Zahlen  $a$  und  $b$  berechnen, kann man dies recht schnell mit dem euklidischen Algorithmus tun. Dabei sei  $a$  o.B.d.A. größer als  $b$  (ansonsten vertausche man einfach beide):

$$\begin{aligned} a &= q_1 b + r_1 \\ b &= q_2 r_1 + r_2 \\ r_1 &= q_3 r_2 + r_3 \\ &\vdots \\ r_{n-2} &= q_n r_{n-1} + r_n \\ r_{n-1} &= q_{n+1} r_n + 0 \end{aligned}$$

Nun ist  $r_n$  der größte gemeinsame Teiler von  $a$  und  $b$ . Dabei seien die  $q_i$  so gewählt, dass alle  $r_{i-1} > r_i$  sind. Somit ist die Folge aller  $r_i$  streng monoton fallend und muss deswegen nach endlich vielen Schritten 0 werden.

Aus dem Euklidischen Algorithmus ergibt sich, dass stets ganze Zahlen  $x$  und  $y$  mit  $ax + by = \text{ggT}(a, b)$  existieren. Die Gleichung  $ax + by = 1$  mit  $a, b \in \mathbb{Z}$ , die nicht beide gleich 0 sind, hat also genau dann eine Lösung, wenn  $a$  und  $b$  teilerfremd sind. Mit Hilfe dieses Sachverhalts kann man das modulare Inverse einer Zahl  $a$  berechnen, d.h. man sucht nach der Zahl  $x$  mit  $ax \equiv 1 \pmod{b}$ .

Für primes  $m$  ist jedes Element von  $(\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}) \setminus \{0\}$  teilerfremd zu  $m$ , hat also ein modulares Inverses. Dies führt zu dem in 3.3 behandelten Begriff eines „Körpers“.

### Der chinesische Restsatz

Seien die natürlichen Zahlen  $m_1, m_2, \dots, m_n$  teilerfremd und seien außerdem die ganzen Zahlen  $a_1, a_2, \dots, a_n$  gegeben. Dann existiert stets ein  $x \in \mathbb{Z}$ , für das folgendes erfüllt ist:

$$x \equiv a_i \pmod{m_i} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

Dabei ist  $x$  in der Restklasse  $[m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n]$  eindeutig bestimmt.

Ein Beweis dieses Satzes wurde in unserem Kurs nach J. Wolfart (siehe Literaturverweise) geführt.

### Quellen

- <http://www-dm.informatik.uni-tuebingen.de/lehre/kryptoVL/ws0607/ChinRest.pdf>
- [http://www.austromath.at/medienvielfalt/materialien/krypto/lernpfad/content/k\\_euklid.htm](http://www.austromath.at/medienvielfalt/materialien/krypto/lernpfad/content/k_euklid.htm)
- Wolfart, J. (2011): *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra*, Wiesbaden, Vieweg Verlag
- Buchmann, J. (2010): *Einführung in die Kryptographie*, Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag

### 3.3 Gruppen, Ringe und Körper

Simon Bodenschatz  
Betreuerin: Alexandra Walter

$$1 + 1 = 0$$

Auf den ersten Blick ist man geneigt, zu widersprechen, doch diese Rechnung ist richtig - unter bestimmten Umständen, nämlich wenn man zum Beispiel in der folgenden Gruppe rechnet:  $(\{0, 1\}, +)$   
Doch was genau ist die Definition einer Gruppe?

Eine *Gruppe*  $G$  ist eine Menge mit einer Verknüpfung  $\circ$  (z. B. der Addition „+“), für welche die folgenden Axiome gelten:

1. Assoziativität:  $(a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c) \quad \forall a, b, c \in G$
2. Existenz des neutralen Elements:  $\exists e \in G$  mit  $a \circ e = e \circ a = a \quad \forall a \in G$
3. Existenz des inversen Elements:  $\forall a \in G \exists b \in G$  mit  $a \circ b = b \circ a = e$

Falls zudem (4.) Kommutativität:  $a \circ b = b \circ a \quad \forall a, b \in G$  gilt, heißt die Gruppe *abelsch* oder *kommutativ*.

Im obengenannten Beispiel enthält die Menge die beiden Elemente 0 und 1, und besitzt als Verknüpfung die Addition. Man kann die Rechenoperationen in der Gruppe in einer Tabelle zusammenfassen (siehe rechts). Dass Axiom (1.) gilt, kann man leicht nachrechnen. Laut Axiom (2.) muss es ein neutrales Element bezüglich der Addition geben. Hier ist dies die Null, da  $0 + 0 = 0$  und  $0 + 1 = 1 + 0 = 1$  gilt.

+	0	1
0	0	1
1	1	0

Zudem muss es nach Axiom (3.) zu jedem Element ein inverses Element geben, so dass bei Verknüpfung eines Elements mit seinem Inversen das neutrale Element herauskommt. Aus der Tabelle kann man entnehmen, dass die 0 und die 1 jeweils zu sich selbst invers sind.  $1 + 1 = 0$  muss dabei zwingend gelten, da je zwei Elemente miteinander verknüpft wieder in der Gruppe liegen müssen.

Auf Gruppen kann man folgende weitere Begriffe definieren:

Eine Teilmenge  $H$  von  $G$ , die dieselbe Verknüpfung wie  $G$  verwendet und die Gruppenaxiome erfüllt, heißt *Untergruppe*  $H$  von  $G$ . Jede Gruppe enthält stets die trivialen Untergruppen  $\{e\}$  und  $G$ . Bezogen auf das obige Beispiel bildet also  $(\{0\}, +)$  eine Untergruppe,  $(\{1\}, +)$  jedoch nicht, da bei letzterem das neutrale Element fehlt.

Wenn  $G$  endlich ist, ist die *Ordnung*  $ord(g)$  eines Elements  $g \in G$  die kleinste natürliche Zahl  $k$  mit  $g^k = e$ , wobei  $e$  das neutrale Element von  $G$  ist und  $g^k$  das  $k$ -fache Verknüpfen von  $k$  mit sich selbst beschreibt. Des Weiteren ist die *Ordnung*  $ord(G)$  einer Gruppe  $G$  die Anzahl der Elemente von  $G$ .

Nach einem *Satz von Lagrange* gilt, dass, falls  $G$  endlich ist, die Ordnung jedes Elements  $g \in G$  die Ordnung von  $G$  teilt. Zudem gilt, dass die Ordnung jeder Untergruppe ein Teiler der Ordnung von  $G$  ist. Im obigen Beispiel gilt für die Elemente  $2 \cdot 1 = 0$  und  $1 \cdot 0 = 0$ , daher ist  $ord(1) = 2$  und  $ord(0) = 1$ . Die Ordnung der Gruppe  $(\{0, 1\}, +)$  ist 2.

Eine von einem Element  $a \in G$  erzeugte *zyklische Gruppe*  $H = \langle a \rangle$  von  $G$  besteht aus allen Potenzen oder Vielfachen von  $a$  innerhalb von  $G$  und ist eine Untergruppe von  $G$ . Eine Untergruppe einer zyklischen Gruppe ist selbst wieder zyklisch. Auch unsere Beispielgruppe ist zyklisch und wird additiv von dem Element 1 erzeugt.

Auch auf *Restklassen*  $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$  lassen sich Verknüpfungen definieren, welche die Menge zu einer Gruppe machen. Bezüglich der Addition ist dies kein Problem, wie in 3.2 bereits erarbeitet. Versucht man das gleiche jedoch mit der Multiplikation, entsteht nicht immer eine Gruppe, selbst wenn man die 0 herausnimmt.

Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn  $n = k \cdot l$  mit  $k > 1$  und  $l > 1$ .

Dann gilt  $[k] \cdot [l] = [0]$ . Gäbe es ein  $k'$  mit  $[k'] \cdot [k] = [1]$ , so könnte man obige Gleichung folgendermaßen umformen:

$$\begin{aligned} [k'] \cdot [k] \cdot [l] &= [k'] \cdot [0] \\ [1] \cdot [l] &= [0] \\ [l] &= [0] \quad \text{↯ Widerspruch zu } k > 1 \text{ und } l > 1 \end{aligned}$$

Man erkennt hier also, dass es keine multiplikativen Gruppe auf Restklassen geben kann mit  $n = k \cdot l$  mit  $k > 1$  und  $l > 1$ . Nimmt man jedoch nur zu  $n$  teilerfremde Elemente in die Gruppe, so besitzt sie zu jedem Element ein Inverses. Diese Gruppe haben wir mit  $(\mathbb{Z}/n\mathbb{Z})^*$  bezeichnet.

## Ring und Körper

Ein *Ring* ist eine Menge  $R$  zusammen mit zwei Verknüpfungen „+“ und „·“. Für Ringe gelten folgende Axiome:

1.  $(R, +)$  ist eine abelsche Gruppe.
2. Assoziativität der Multiplikation:  $(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c) \forall a, b, c \in R$
3. Existenz des neutralen Elements der Multiplikation:  $\exists 1 \in R$  mit  $a \cdot 1 = 1 \cdot a = a \forall a \in R$
4. Distributivgesetz:  $([a] + [b]) \cdot [c] = [a] \cdot [c] + [b] \cdot [c] \forall a, b, c \in R$

Falls zudem (4.) Kommutativität:  $a \cdot b = b \cdot a \forall a, b \in R$  gilt, dann heißt  $R$  kommutativer Ring.

Nimmt man zu  $\mathbb{Z}/1\mathbb{Z}$  noch die Verknüpfung „Multiplikation“ hinzu, entsteht tatsächlich ein Ring. Dieser ist sogar kommutativ.

Ein *Körper* ist ein kommutativer Ring  $F$  mit folgenden zusätzlichen Axiomen:

1.  $1 \neq 0$
2. Existenz des inversen Elements der Multiplikation:  $\forall a \in F, a \neq 0 \exists b \in F$  mit  $a \cdot b = 1$

Beispielsweise handelt es sich bei  $\mathbb{Q}$ ,  $\mathbb{R}$  und  $\mathbb{C}$  jeweils um einen Körper: In jedem von ihnen ist 2 das multiplikative Inverse von  $\frac{1}{2}$ .

Die *Charakteristik* eines Körpers  $F$  ist die kleinste natürliche Zahl  $m$  mit

$$m \cdot 1 = \underbrace{1 + 1 + \dots + 1}_{m \text{ mal}} = 0$$

Existiert kein solches  $m$ , so hat  $F$  die Charakteristik 0.

Die Charakteristik eines Körpers ist entweder Null oder eine Primzahl. Der Ring  $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$  ist genau dann ein Körper, wenn  $n$  eine Primzahl ist.

## Quellen

- Bosch, Siegfried (2006): *Lineare Algebra*, Springer Verlag
- Beutelspacher, Albrecht (2003): *Lineare Algebra*, Vieweg
- Werner, Anette (2002): *Elliptische Kurven in der Kryptographie*, Springer Verlag
- Buchmann, Johannes (2010): *Einführung in die Kryptographie*, Springer Verlag
- Wolfart, Jürgen (2011): *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra*, Vieweg Verlag

### 3.4 RSA-Verschlüsselung

Samira Hoock  
Betreuerin: Saskia Groh

Bei der RSA-Verschlüsselung handelt es sich um ein sogenanntes Public-Key-Verfahren, ein Verfahren, bei dem ein öffentlicher Schlüssel bekanntgegeben wird und von jeder Person zum Codieren von Nachrichten benutzt werden kann. Im Gegensatz zu mono- und polyalphabetischen Verschlüsselungen muss kein Schlüsselaustausch stattfinden und auch das Verfahren kann bekannt sein. Die Sicherheit wird dadurch - wie in folgender Ausarbeitung ersichtlich werden wird - nicht herabgesetzt.

Entwickelt wurde die Verschlüsselung im Jahr 1977 von Ronald L. Rivest, Adi Shamir und Leonard Adleman. Die Bezeichnung RSA beruht auf ihren Familiennamen.

Das Verfahren basiert unter anderem auf der Eulerschen  $\varphi$ -Funktion. Diese gibt die Anzahl der teilerfremden kleineren Zahlen zu einer natürlichen Zahl  $n$  an.

$$\varphi(n) = |\{a \in \{1, \dots, (n-1)\} : ggT(a, n) = 1\}|$$

Die Regeln für das Rechnen mit der  $\varphi$ -Funktion sind:

1.  $\varphi(mn) = \varphi(m)\varphi(n)$  für teilerfremde  $m, n \in \mathbb{N}$
2.  $\varphi(p) = p - 1$  für primes  $p \in \mathbb{N}$
3.  $\varphi(p^r) = p^r - p^{r-1}$  für primes  $p \in \mathbb{N}$ ,  $r \in \mathbb{N}$

#### Erzeugung der Schlüssel

Bekannt gegeben wird ein Zahlenpaar  $(N, e)$ .  $N$  ist dabei das Produkt aus zwei (großen) Primzahlen  $p$  und  $q$ . Anschließend errechnet man  $\varphi(N)$ . Da es sich bei  $p$  und  $q$  um Primzahlen handelt, kann man die Rechenregeln (1.) und (2.) anwenden. Es folgt:  $\varphi(N) = (p-1)(q-1)$ .

Der öffentliche Schlüssel  $e$  muss teilerfremd zu  $\varphi(N)$  gewählt werden. Danach bestimmt man  $d$ , das Inverse zu  $e$  modulo  $\varphi(N)$ . Dazu verwendet man den euklidischen Algorithmus. Es gilt:

$$e \cdot d \equiv 1 \pmod{\varphi(N)} \quad \Rightarrow \quad \exists k \in \mathbb{Z} \text{ mit } e \cdot d + k \cdot \varphi(N) = 1 \quad (*)$$

Die Zahl  $d$  ist der private Schlüssel zum Dekodieren eines Geheimtextes.

#### Codierung

Möchte man eine Nachricht verschlüsseln, ordnet man jedem Buchstaben eine Zahl von 01 bis 26 zu. Diese Zahlenfolge teilt man derart in Blöcke auf, dass jeder mindestens kleiner ist als  $N$ . Anschließend verschlüsselt man den Klartext  $m$  in einen Geheimtext  $g$  und benutzt dazu den öffentlichen Schlüssel  $e$  des Adressaten:

$$g = m^e \pmod{N}$$

#### Decodierung

Der Nachrichtenempfänger benutzt seinen geheimem Schlüssel  $d$ , um den Geheimtext  $g$  zu entschlüsseln:

$$m = g^d \pmod{N}$$

Die Entschlüsselung basiert auf dem Satz von Lagrange und läuft folgendermaßen ab:

$$\begin{aligned}
 & g^d \pmod N \\
 = & (m^e)^d \pmod N \\
 = & m^{e \cdot d} \pmod N \\
 = & m^{1-k \cdot \varphi(N)} \pmod N && \text{nach } (*) \\
 = & m \cdot m^{-k \cdot \varphi(N)} \pmod N \\
 = & m \cdot (m^{-k})^{\varphi(N)} \pmod N \\
 = & m \cdot 1 \pmod N && \text{nach Lagrange} \\
 = & m
 \end{aligned}$$

### Sicherheit des Verfahrens

Bei der Codierung handelt es sich um eine sogenannte *Falltürfunktion*. Das heißt, sie kann leicht in eine Richtung berechnet werden, während ihre Umkehrung mit den bisher bekannten Verfahren nicht möglich ist. Man benötigt hierfür eine Zusatzinformation: in diesem Fall den geheimen Schlüssel  $d$ .

Die Sicherheit basiert daher auf dem Faktorisierungsproblem. Das Erzeugen von  $N$  als Produkt zweier großer Primzahlen  $p$  und  $q$  ist einfach. Möchte man nun aber aus  $N$  die beiden Primzahlen berechnen, ist dies nur mit aufwändigen Verfahren möglich. Bei ausreichend großen  $p$  und  $q$  ist diese Rückrechnung praktisch - aufgrund des Rechenaufwandes und der damit zusammenhängenden benötigten Zeit - nicht mehr möglich.

Die Schlüsselerzeugung ist aufgrund der Menge an Primzahlen und den vielen Möglichkeiten der Wahl von  $e$  leicht und es gibt „genügend“ mögliche Paare. Jede Person braucht nur ein Schlüsseltripel  $(N, e, d)$  und kann damit mit beliebig vielen anderen Personen geheim kommunizieren, die wiederum auch nur ein Schlüsseltripel benötigen. Dies macht einen schnell gelingenden, sicheren Austausch ohne vorherige Absprachen möglich.

### Quellen

- Beutelspacher, Albrecht (2009): *Kryptologie. Eine Einführung in die Wissenschaft vom Verschlüsseln, Verbergen und Verheimlichen*, 9.Auflage, Vieweg und Teubner, Wiesbaden
- Welsh, Dominic (1991): *Codes und Kryptographie*, Wiley-VCH Verlag
- <http://www.math.uni-frankfurt.de/~theobald/dm2011/skript.pdf>

### 3.5 Primzahltests

Sebastian Gallus  
Betreuerin: Vera Meyer

Eine Primzahl ist dadurch charakterisiert, dass sie genau zwei Teiler besitzt: 1 und sich selbst. Es gibt unendlich viele Primzahlen, denn: Angenommen, die Primzahlen wären begrenzt, dann könnten wir eine neue größere Primzahl über dem Limit finden. Man nimmt alle Primzahlen und multipliziert sie miteinander. Zum Schluss addiert man 1 und erhält eine Zahl, die durch keine dieser Primzahlen teilbar sein kann. Daher muss sie eine neue Primzahl oder das Produkt neuer Primzahlen sein.

Primzahlen werden unter anderem für Verschlüsselungen (siehe Beitrag 3.4) benötigt. Eine einfache Option, um Primzahlen in einem selbst gewählten Bereich zu finden, ist das so genannte „Sieb des Eratosthenes“. Es ist eine einfache Methode, um Primzahlen in einem kleinen Bereich zu erhalten. Zuerst werden alle Zahlen von 2 bis zu einer selbst gewählten Obergrenze notiert.

Beispiel (Bereich  $2 \leq n \leq 30$ ):

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Nachdem diese Liste erstellt wurde, streicht man die Vielfachen der ersten Zahl aus. Bei der 2 sind dies 4, 6, 8, 10, 12, ..., 30. Die nächste nicht ausgestrichene Zahl ist eine Primzahl, da sie kein Vielfaches von 2 sein kann, denn sonst wäre sie schon ausgestrichen. Wenn man nun alle Vielfachen der 3 ausstreicht, verbleibt als nächste nicht ausgestrichene Zahl die 5. Deswegen wissen wir, dass die 5 eine Primzahl ist. Wenn dieser Vorgang auch noch mit der 5 abgeschlossen ist, dann sind alle verbleibenden Zahlen Primzahlen, da  $\sqrt{30}$  abgerundet 5 ist. Es ergibt sich die Liste der Primzahlen bis 30:

2; 3; 5; 7; 11; 13; 17; 19; 23; 29

Für große Zahlen ist dieses Verfahren allerdings nicht mehr praktikabel, da die benötigten Listen extrem lang werden. Man verlegt sich also auf *Primzahltests*.

Der Mathematiker Pollard entwickelte einen Test, um zu prüfen, ob eine Zahl prim sein kann oder nicht. Pollards Test hat drei Kriterien, welche alle erfüllt sein müssen, damit die Zahl prim sein kann.

Die Kriterien sind:

1.  $n$  ist keine Quadratzahl
2. Es gibt keinen Primteiler kleiner oder gleich der Kubikwurzel von  $n$
3.  $k^{n-1} \equiv 1 \pmod n \forall k \in \mathbb{N}$  mit  $k < \sqrt[3]{n}$

Der entsprechende Beweis wurde von uns im Kurs erarbeitet und kann in dem unten aufgelisteten Bush von J. Wolfart nachgelesen werden.

Als Beispiel nehmen wir die Zahl 2311:

- 1. Kriterium:** erfüllt, da  $48^2 < 2311 < 49^2$
- 2. Kriterium:** erfüllt, da  $\sqrt[3]{2311} \approx 13,2$  und 2311 nicht durch 2, 3, 5, 7, 11 teilbar ist
- 3. Kriterium:** erfüllt, da  $\sqrt[5]{2311} \approx 4,7$  und  $1^{2310} \equiv 2^{2310} \equiv 3^{2310} \equiv 4^{2310} \equiv 1 \pmod{2311}$

Allerdings gibt es Zahlen, die diesen Test bestehen, obwohl sie nicht prim sind. Diese Zahlen nennt man *Pseudoprimzahlen*. „Eine Pseudoprimzahl ist eine zusammengesetzte, natürliche Zahl, die gewisse Eigenschaften mit Primzahlen gemeinsam hat, selbst aber keine Primzahl ist.“ (Wikipedia)

Eine Weiterentwicklung dieses Tests stammt von Miller und Rabin. Dabei kann man eine Wahrscheinlichkeit vorgeben und erhält zu dieser eine Zahl  $n$ . Der Test liefert nun, dass nach  $n$ -maligem Bestehen mit verschiedenen Basen die Zahl nur noch mit höchstens der vorgegebenen Wahrscheinlichkeit in Faktoren zerfällt, also nicht echt prim ist.

## Quellen

- J. Wolfart: *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra* (Kapitel 5 und Kapitel 8)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Pseudoprimzahl>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Carmichael-Zahl>
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Kleiner\\_Fermat-Satz](http://de.wikipedia.org/wiki/Kleiner_Fermat-Satz)
- <http://knol.google.com/k/die-fermatsche-pseudoprimzahl-und-bekannte-irrt%C3%BCmer#>
- [http://www.algebra.tuwien.ac.at/institut/zthanw/ZthAnw2\\_2.pdf](http://www.algebra.tuwien.ac.at/institut/zthanw/ZthAnw2_2.pdf)

## 3.6 Faktorisierung

Marc Goßmann  
Betreuerin: Vera Meyer

Faktorisierungsverfahren werden dazu verwendet, eine Zahl in Faktoren zu zerlegen. Im weiteren Text wollen wir erklären, was diese Verfahren sind, wie sie funktionieren und wofür sie verwendet werden. Zum Beispiel beim bereits in 3.4 erläuterten RSA-Verfahren ist eine Zahl  $N$  bekannt, die sich aus zwei Primfaktoren zusammensetzt. Kann man von  $N$  auf diese Faktoren zurückschließen, so lässt sich die Verschlüsselung knacken.

**Satz:** Jede Zahl lässt sich in Primfaktoren zerlegen und diese Zerlegung ist eindeutig.

**Beweis:** Seien  $a, b, c \in \mathbb{Z}$  und  $a$  und  $b$  teilerfremd, dann gilt:  $a|bc \Rightarrow a|c$ . Ist also  $p$  eine Primzahl und  $a, b \in \mathbb{Z}$  mit  $p|ab$ , so muss gelten  $p|a$  oder  $p|b$ .

Sei nun  $n$  eine Zahl, die zwei verschiedene Primfaktorzerlegungen  $n = p_1 p_2 p_3 \dots p_m = q_1 q_2 q_3 \dots q_k$  besitzt, diese seien aufsteigend geordnet. Da  $q_1$  die Zahl  $n$  teilt, muss sie nach obiger Folgerung einen der Faktoren  $p_i$  teilen. Umgekehrt muss auch  $p_1$  eines der  $q_j$  teilen. Zwei Primzahlen sind aber gleich, wenn sie sich teilen (und es geht hier um Primfaktoren), also existieren  $q_j, p_i$  mit  $p_1 = q_j$  und  $q_1 = p_i$ . Daraus ergibt sich folgende Ungleichungskette:  $p_1 \leq p_i = q_1 \leq q_j = p_1$ . Da der erste und der letzte Term übereinstimmen, gilt überall die Gleichheit, also insbesondere  $p_1 = q_1$ . Dies lässt sich auf die anderen Faktoren fortsetzen, indem man durch  $p_1 = q_1$  teilt.

## Verfahren

### *Einfache Division*

Das naivste Verfahren, um die Primfaktoren von  $n \in \mathbb{Z}$  zu finden, ist die Probedivision durch alle Primzahlen  $p \leq \sqrt{n}$ . Dies ist aber bei sehr großen Zahlen, wie sie beispielsweise bei der Verschlüsselung mit RSA verwendet werden, nicht möglich, da die aktuelle Rechenleistung nicht ausreichend ist und daher der Vorgang zu lange dauern würde. Sobald diese verbessert wird, können auch größere Zahlen  $n \in \mathbb{Z}$  faktorisiert werden. Dann werden jedoch auch größere Zahlen zum Verschlüsseln verwendet werden, bei denen diese Rechenleistung wieder nicht ausreicht!

*Fermats Ansatz*

Fermat entwickelte eine Idee, auf der viele Faktorisierungsalgorithmen basieren, die sogenannte *Quadratische Form*. Man kann Teiler von  $n$ , die in der Größenordnung von  $\sqrt{n}$  sind, finden, indem man  $n$  als Differenz zweier Quadrate darzustellen versucht.

$$n = x^2 - y^2 = (x + y)(x - y)$$

*Das Quadratische Sieb*

Das Quadratische Sieb beruht auf Fermats Idee. Das Ziel ist es,  $x$  und  $y$  zu finden, für die die Kongruenzen  $x^2 \equiv y^2 \pmod{n}$  und  $x \not\equiv \pm y \pmod{n}$  gelten. Dann ist  $n$  zwar ein Teiler von  $x^2 - y^2 = (x - y)(x + y)$ , aber kein Teiler von  $x - y$  oder  $x + y$ . Durch die Berechnung des ggT von  $n$  und  $x - y$  oder von  $n$  und  $x + y$  findet man einen nicht trivialen Teiler von  $n$ .

Zur Bestimmung von  $x$  und  $y$  wählen wir als Startwert denjenigen Wert  $m$ , der sich ergibt, wenn wir  $\sqrt{n}$  berechnen und abrunden, sowie die Funktion  $f(s) = (s - m)^2 - n$ . Aus dieser folgt die Kongruenz  $(s - m)^2 \equiv f(s) \pmod{n}$ ; die Hoffnung besteht darin, dass Quadratzahlen als  $f(s)$  auftreten. Dafür setzen wir für  $s$  kleine Werte ein ( $s = 0, 1, -1, 2, -2, \dots$ ) und zerlegen  $f(s)$  in Primfaktoren, um Quadrate zu erkennen.

Eine Erweiterung der Methode stammt von M. Kraitchik. Dabei suchen wir nach einem Produkt zweier Funktionswerte  $f(s)$  und  $f(s')$ , welches ein Quadrat ist. Wir haben dann die Kongruenz  $(s - m)^2 \cdot (s' - m)^2 \equiv f(s) \cdot f(s')$ , in der auf beiden Seiten wie gewünscht ein Quadrat  $x^2$  bzw.  $y^2$  steht.

Der ggT von  $n$  und  $x - y$  oder von  $n$  und  $x + y$  ist ein Teiler von  $n$ . Sind dieser und der zugehörige Co-Teiler beide kleiner als  $n$ , müssen sie dann mit derselben Methode ggf. noch in ihre Primfaktoren zerlegt werden.

*Pollards (p-1)-Methode*

Die  $(p - 1)$ -Methode von Pollard ist effizient für Zahlen  $n$ , bei denen  $p - 1$  (für einen Primfaktor  $p$  von  $n$ ) selbst nur kleine Primfaktoren hat.

Dabei wollen wir ein Vielfaches  $k$  von  $p - 1$  berechnen - und zwar, ohne  $p - 1$  zu kennen. Wir wählen hierzu ein  $a \in \mathbb{N}$  derart, dass  $1 < a < n - 1$ . Ist  $\text{ggT}(a, n) > 1$ , so haben wir schon einen Faktor von  $n$  gefunden; wir setzen daher  $\text{ggT}(a, n) = 1$  voraus und erhalten somit auch  $\text{ggT}(a, p) = 1$ . Dann gilt  $a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p}$ . Durch Potenzbildung finden wir, dass aus  $(p - 1) | k$  auch  $a^k \equiv 1 \pmod{p}$  folgt, also ist  $\text{ggT}(a^k - 1, n) > 1$ .

Bei der Wahl von  $a$  fängt man immer mit dem kleinsten Wert an, der die Voraussetzungen erfüllt. Für die Festlegung von  $k$  wählen wir eine Schranke  $B$ , unterhalb derer alle Primzahlpotenzen liegen sollen. Genauer ergibt sich  $k$  aus der Formel

$$k = \prod_{q \text{ prim}, q^e \leq B \leq q^{e+1}} q^e$$

Damit berechnen wir den ggT von  $a^k - 1$  und  $n$ . Wenn der ggT 1 oder  $n$  ist, müssen wir  $a$  oder  $B$  neu wählen.

**Quellen**

- J. Wolfart: *Einführung in die Zahlentheorie und Algebra*, Vieweg+Teuber Verlag, 2011
- J. Buchmann: *Einführung in die Kryptographie*, Springer-Verlag, Heidelberg, 2010

### 3.7 Affine Kurven

Gregor Angeloni  
 Betreuerin: Vera Meyer

Sei  $F$  ein Körper (engl. für *Field*: „Körper“) und

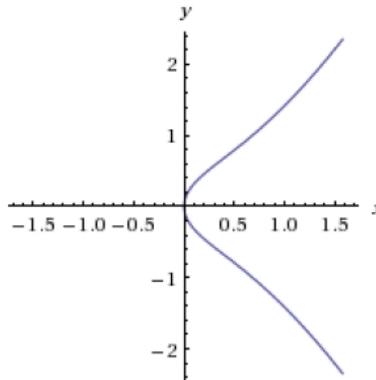
$$f(x, y) = \sum_{v_1, v_2 \geq 0} \gamma_{v_1 v_2} x^{v_1} y^{v_2}$$

ein Polynom  $f \neq 0$  in zwei Variablen  $x, y \in F$  sowie den Koeffizienten  $\gamma_{v_1 v_2} \in F$ .

Die Nullstellenmenge in  $F \times F$  eines solchen Polynoms wird dann mit  $C_f(F)$  bezeichnet und *affine ebene Kurve*  $C_f(F) = \{(a, b) \in F \times F : f(a, b) = 0\}$  genannt.

Den zweidimensionalen affinen Raum  $F \times F$  schreiben wir auch als  $A^2(F) := \{(a, b) : a, b \in F\}$ .

Wir betrachten das Beispiel der affinen Kurve  $f(x, y) = y^2 - x^3 - x$ . Der Punkt  $(0, 0)$  ist immer eine Lösung dieser Gleichung. Die Kurve  $C_f(F)$  mit der Lösungsmenge über  $F = \mathbb{R}$  sieht folgendermaßen aus:



Im nächsten Schritt betrachten wir die Kurve auf verschiedenen endlichen Körpern.

Für  $F_p$  mit  $p$  prim ist  $x^3 - x = 0$  erfüllt für die Körperelemente 0 und 1. Ebenfalls ist  $y^2 \in F$  für  $y = 0$ . Daher ist z.B.  $C_f(F_2) = \{(0, 0), (0, 1)\}$ .

Für  $p = 7$  können wir folgende Tabelle erstellen:

x	0	1	2	3	4	5	6
$x^3+x$	1	2	3	2	5	4	0
y	0	3 und 4	/	3 und 4	/	2 und 5	0

Eine nützliche Hilfs-Tabelle dabei ist eine Liste der jeweiligen  $y^2$ :

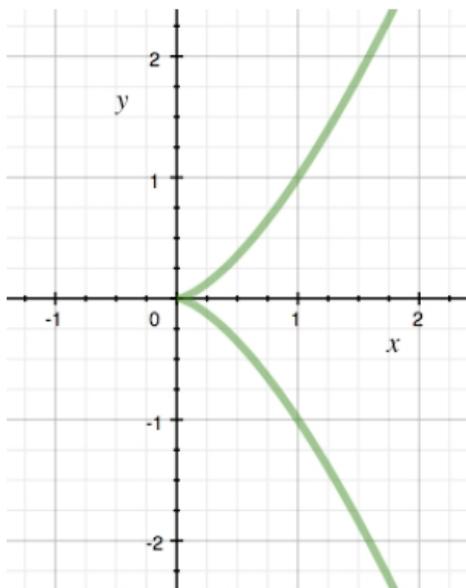
y	0	1	2	3	4	5	6
$y^2$	0	1	4	2	2	4	1

Aus der oberen Tabelle kann abgelesen werden, dass die Kurve aus den Punkten  $(0, 0), (1, 3), (1, 4), (3, 3), (3, 4), (5, 2), (5, 5), (6, 0)$  besteht.

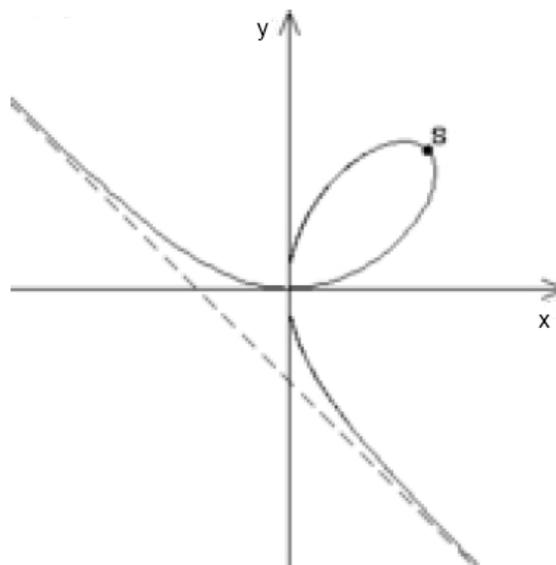
Wenn ein Körper  $E$  den Körper  $F$  enthält, dann ist  $C_f(F) \subset C_f(E)$ , und insbesondere für den algebraischen Abschluss  $\bar{F}$  gilt  $C_f(F) \subset C_f(\bar{F})$ .

Eine ebene affine Kurve  $C_f(F)$  heißt *singulär* im Punkt  $(x, y)$ , wenn beide partiellen Ableitungen  $\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = 0$  sind. Anschaulich bedeutet dies, dass man in diesem Punkt keine eindeutige Tangente zeichnen kann.  $C_f(F)$  heißt nicht-singulär, wenn die Kurve  $C_f(\bar{F})$  in keinem Punkt der Kurve singulär ist. In einem nicht singulären Punkt gibt es genau eine Tangente.

Wir betrachten hierfür folgende Kurven:



(a)  $y^2 = a^2 x^3$



(b)  $x^3 + y^3 - 3axy = 0$

## Quellen

- Annette Werner: *Einführung in die Kryptographie*, Springer Verlag,
- Abbildungen: <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/808445>

## 3.8 Projektive Kurven

Karim El Salim  
Betreuerin: Vera Meyer

Den  $n$ -dimensionalen Raum über  $F$  nennt man  $A^n(F)$ . Man definiert den zweidimensionalen projektiven Raum mittels einer Äquivalenzrelation  $\sim$  :

$$P^2(F) = F \times F \times F \setminus \{(0, 0, 0)\} / \sim$$

Man nennt  $(a, b, c)$  und  $(a', b', c')$  äquivalent und schreibt  $(a, b, c) \sim (a', b', c')$ , sofern es ein  $t \in F \setminus \{0\}$  gibt mit  $a = ta'$ ,  $b = tb'$  und  $c = tc'$ . Nun kann man eine Abbildung  $i : A^2(F) \rightarrow P^2(F)$  durch  $i(a, b) = [a : b : 1]$  definieren, von dem affinen Punkt  $(a, b)$  auf die Äquivalenzklasse des Tripels  $[a : b : 1]$ . Die Abbildung  $i$  ist injektiv, denn zu jedem Element aus  $P^2$  existiert höchstens ein Element

aus  $A^2$ , welches auf dieses abgebildet wird. Somit kann  $A^2(F)$  als Teilmenge von  $P^2(F)$  aufgefasst werden.

Hinzu kommen außerdem die Punkte  $[a : b : 0]$ , die offensichtlich nicht von der Abbildung  $i$  erreicht werden. Man drückt sie durch eine weitere Abbildung  $j : F \rightarrow P^2(F)$  mit  $j(a) = [a : 1 : 0]$  aus. Als Letztes bleibt noch der Punkt  $[a : 0 : 0] = [1 : 0 : 0]$ .

Ein homogenes Polynom  $f$  vom Grad  $d$  ist ein Ausdruck

$$\sum_{v_1, v_2 \geq 0, v_1 + v_2 \leq d} \lambda_{v_1, v_2} X^{v_1} Y^{v_2} Z^{d-v_1-v_2} \quad \text{mit } f \neq 0$$

Homogene Polynome haben die Eigenschaft, dass die Summe der Exponenten eines Summanden gleich dem Grad  $d$  ist. Es gilt

$$g(a, b, c) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad g(ta, tb, tc) = 0$$

da sich  $t^d$  ausklammern lässt und sich so wegekürzt. Das ist bedeutend, da dies bei beliebigen Polynomen nicht unbedingt der Fall sein muss.

### Homogenisierung eines Polynoms

Man betrachte die affine Kurve  $C_f(F)$  mit  $f(x, y) = y^2 - x^3 - x$  über einen beliebigen Körper  $F$ .  $C_f(F)$  entspricht der Nullstellenmenge von  $f(x, y)$  und für sie gilt:

$$y^2 = x^3 + x \quad (*)$$

Eine Lösung dieser Gleichung kann als  $b^2 = a^3 + a$  für  $a, b \in A^2(F)$  dargestellt werden. Sei  $c \in F$  mit  $c \neq 0$  sowie  $a' = ac$  und  $b' = bc$ . Dies setzt man in  $(*)$  ein und erhält als neue Gleichung  $(b'/c)^2 = (a'/c)^3 + (a'/c)$ .

Multipliziert man diese neue Gleichung mit  $c^3$ , so erhält man eine Lösung  $(a, b, c)$  einer neuen homogenen Gleichung in drei Variablen:

$$Y^2Z = X^3 + XZ^2 \quad (**)$$

welche die Nullstellenmenge des homogenen Polynom  $Y^2Z - X^3 - XZ^2$  vom Grad 3 beschreibt. Diesen Vorgang nennt man auch *Homogenisierung*.

Tatsächlich erhält man durch die Homogenisierung zusätzliche Lösungen:

Zum einen gibt es für  $c \neq 0$  die Lösung  $(a/c, b/c)$  für  $C_f(F)$ . Des Weiteren entsteht ein neues Ergebnis für  $c = 0$ . In Letzterem muss  $a = 0$  sein,  $b$  kann beliebig gewählt werden. Für  $(*)$  gibt es in diesem Fall keine entsprechende Lösung.

Eine projektive, ebene Kurve ist die Nullstellenmenge eines homogenen Polynoms in drei Variablen  $a, b, c$  in  $P^2$ . Sie ist kompakt und nicht leer. Sei  $g$  ein homogenes Polynom vom Grad  $d$ , dann definiert  $g$  die Kurve  $C_g(F) = \{[a : b : c] \in P^2(F) : g(a, b, c) = 0\}$ , man nennt diese *projektive Kurve*. Sie besitzt einen zusätzlichen Punkt, der nicht in der affinen Ebene liegt und auch „Punkt im Unendlichen“ genannt wird.

### Quellen

- Annette Werner: *Einführung in die Kryptographie*, Springer Verlag

### 3.9 Elliptische Kurven

Mischa Holz und Leon Strauss  
Betreuerin: Birthe Anne Wiegand

Elliptische Kurven sind Kurven in drei Variablen, sind also in den dreidimensionalen Raum einbettbar. Beschrieben werden sie zunächst durch die homogene Gleichung

$$g(X, Y, Z) = Y^2Z + a_1XYZ + a_3YZ^2 - X^3 - a_2X^2Z - a_4XZ^2 - a_6Z^3$$

Diese lässt sich allerdings stark vereinfachen, denn durch die Homogenität lässt sich die  $Z$ -Koordinate auf zwei Zustände reduzieren:  $Z = 0$  und  $Z \neq 0$ .

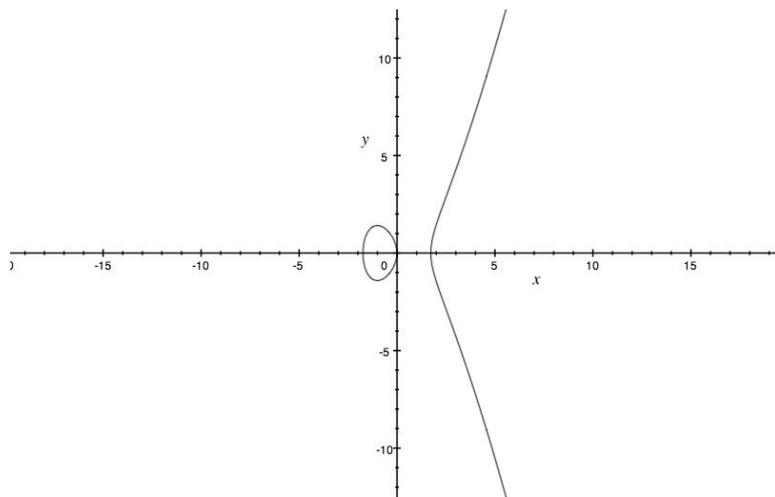
Aus  $Z = 0$  folgt direkt  $X = 0$ , also bleiben alle Punkte der Art  $[0 : Y : 0]$  - diese sind alle äquivalent, es ist also nur ein homogenisierter Punkt, als Vertreter bietet sich etwa  $[0 : 1 : 0]$  an. Dies ist der unendlich ferne Punkt, welcher nicht im affinen Raum liegt und elliptischen Kurven zu eigen ist.

Für  $Z \neq 0$  lässt sich jeder Punkt auf die  $X$ - und  $Y$ -Koordinaten reduzieren, indem man durch  $Z (\neq 0)$  teilt:  $[X : Y : Z] = [\frac{X}{Z} : \frac{Y}{Z} : 1]$ . Definiert man die Koordinaten also mittels  $x := \frac{X}{Z}$  und  $y := \frac{Y}{Z}$  um, so erhält man die viel handlichere Gleichung:

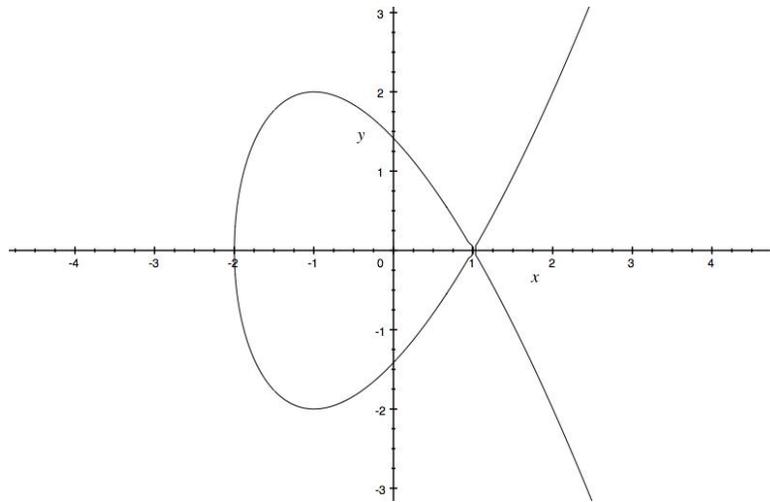
$$y^2 = x^3 + ax + b$$

Dies ist der affine Teil einer elliptischen Kurve. Vereinigt mit dem projektiven Teil, dem Fernpunkt  $[0 : 1 : 0]$ , ergibt er die gesamte Kurve.

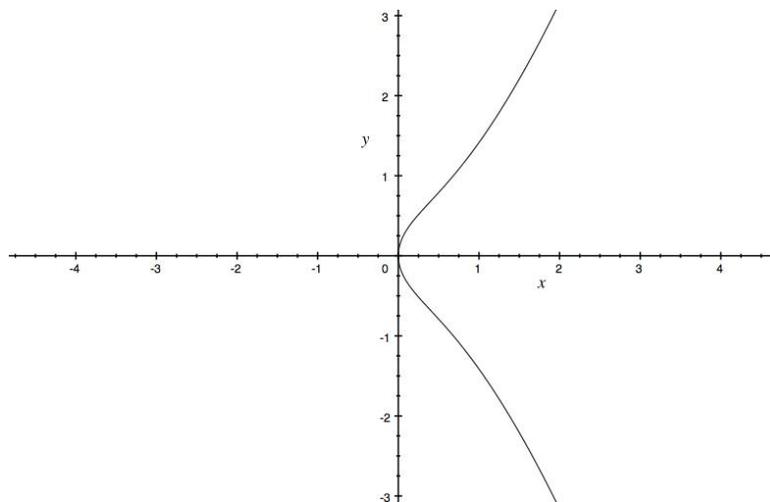
Elliptische Kurven sind prinzipiell in drei Kategorien einteilbar:



Zweigeteilt - eine elliptische Form und eine Kurve, die stark nach oben und unten ansteigt



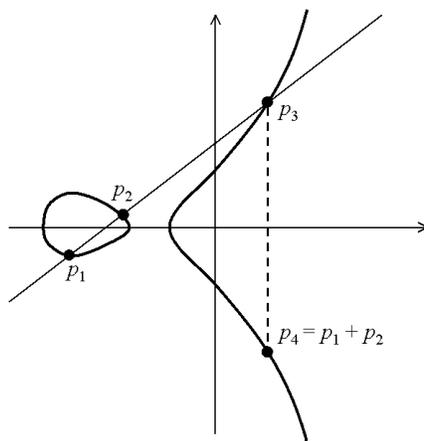
Singulär - Das sind streng genommen keine elliptischen Kurven, da sie einen Punkt enthalten, an dem es mehr als eine Tangente, also keine eindeutige Ableitung, gibt.



Eine durchgehende Kurve.

Die Gleichung  $y^2 = x^3 + ax + b$  wird uns weiter zur Beschreibung einer elliptischen Kurve dienen.  $a$  und  $b$  beeinflussen das Aussehen der Kurve. Zentral hierfür ist die sogenannte Diskriminante  $d$ , beschrieben durch  $d = 4a^3 + 27b^2$ . Diese Gleichung haben wir im Kurs über partielle Ableitungen hergeleitet. Für  $d < 0$  beschreibt die Kurve ein Bild wie in der ersten Abbildung. Für  $d > 0$  entsteht ein Bild wie in der dritten Abbildung. Gilt  $d = 0$ , so entsteht eine Singularität, wie in der zweiten Abbildung zu sehen.

Kurven lassen sich allgemein auch als Menge von Punkten verstehen. Elliptische Kurven speziell bilden sogar eine *Gruppe* aus Punkten! Diese Gruppe hat eine Verknüpfung, welche im Folgenden als Addition bezeichnet wird. Das Addieren von zwei Punkten ist wie folgt definiert: Wir ziehen eine Gerade durch beide Punkte und spiegeln den dritten Schnittpunkt der Gerade mit der Kurve an der y-Achse. Dass ein solcher Schnittpunkt immer existiert, haben wir im Kurs bewiesen.



Falls die Gerade parallel zur  $y$ -Achse verläuft, so trifft sie den unendlich fernen Punkt, welcher das neutrale Element der Gruppe ist. Um einen Punkt zu sich selbst zu addieren, nehmen wir die Tangente in diesem Punkt. Die Addition ist also abgeschlossen. Da es für die Gerade irrelevant ist, in welcher Reihenfolge sie die beiden Ausgangspunkte verbindet, handelt es sich sogar um eine abelsche Gruppe, also eine, in der die Verknüpfung kommutativ ist!

### Quellen

- Anette Werner: *Elliptische Kurven in der Kryptographie*, Springer Verlag, 2002

## 3.10 Alternativen zu RSA

Christoph Bläser  
Betreuerin: Birthe Anne Wiegand

### Der Diskrete Logarithmus

Das sogenannte „Problem des Diskreten Logarithmus“ beschreibt eine Falltürfunktion, wie sie schon im Beitrag 3.4 zur RSA-Verschlüsselung erwähnt wurde - allerdings nicht auf den reellen Zahlen, sondern in einer Gruppe.

Sei  $G$  eine endliche abelsche additive Gruppe,  $P \in G$  und  $n$  die Ordnung der zyklischen Untergruppe  $\langle P \rangle = \{kP : k \in \mathbb{Z}\}$ , die von  $P$  erzeugt wird. Des weiteren sei eine Funktion  $f : \mathbb{Z}/n\mathbb{Z} \rightarrow \langle P \rangle$  definiert durch  $k \bmod n \rightarrow kP$ .

Die „einfache“ Richtung der Falltürfunktion ist es,  $kP$  aus gegebenen  $G$ ,  $P$ ,  $n$  und  $k$  zu erzeugen. Das Anwenden von  $f$  auf  $k$  entspricht einer Multiplikation bzw. mehrmaligen Addition auf einer Gruppe, was auch bei komplizierten endlichen Gruppen mit verhältnismäßig geringem Rechenaufwand möglich ist.

Umgekehrt ist es wesentlich schwieriger, bei gegebenen  $G$ ,  $P$ ,  $n$  und  $kP$  wieder zu  $k$  zurückzurechnen, da wir hierzu die Umkehrfunktion zu  $f$  bräuchten. Diese ist allerdings auf endlichen Gruppen nicht so einfach herzustellen wie etwa die Umkehrung der Multiplikation auf  $\mathbb{R}$ !

Auf dieser Problematik aufbauend werden im Folgenden zwei kryptographische Verfahren vorgestellt, die eine echte Alternative zum RSA-Schema bilden, da sie nicht auf der Faktorisierung großer Zahlen bauen.

### Der Diffie-Hellmann-Schlüsselaustausch

Diese Methodik bietet den Konversationsbeteiligten - in unserem Falle Tim und Struppi - die Möglichkeit, einen geheimen Schlüssel zu kreieren, ohne ein Treffen zu arrangieren. Mit diesem Schlüssel können sie dann zum Beispiel weitere Nachrichten codieren.

- Seien wieder  $G$ ,  $n$  und  $P$  gegeben und allen Beteiligten bekannt (auch Zuhörern).
- Struppi wähle eine ganze Zahl  $d_S$  in  $\{1, 2, \dots, (n-1)\}$  als *geheimen* Schlüssel (nur für sich selbst). Er bildet aus diesem und dem ihm bekannten  $P$  seinen *öffentlichen* Schlüssel  $d_S P$ . Dieser kann an jeden weitergegeben werden.
- Tim verfare ebenso und veröffentliche ebenfalls sein  $d_T P$ . Hat man mehr als zwei Teilnehmer, kann man auch ein Verzeichnis aller  $d_X P$  erstellen.
- Nun multiplizieren Tim und Struppi jeweils ihren eigenen geheimen Schlüssel mit dem öffentlichen Schlüssel des anderen - Struppi erhält  $d_S(d_T P)$  und Tim  $d_T(d_S P)$ .

Da wir uns aber innerhalb einer abelschen Gruppe bewegen, gilt das Kommutativgesetz, und  $d_S d_T P = d_T d_S P$ ! Beide Akteure sind somit im Besitz eines identischen Schlüssels.

Wenn nun ein Unbefugter in den Besitz dieses Schlüssels gelangen will, muss er versuchen,  $d_S$  oder  $d_T$  herauszufinden bei gegebenen  $G$ ,  $n$ ,  $P$ ,  $d_S P$  und  $d_T P$ , um ebenfalls an diesen Schlüssel zu gelangen.

Dies ist äquivalent zum Problem des Diskreten Logarithmus, es ist keine geheime Übermittlung von Daten nötig, es muss nur jeder seinen eigenen geheimen Schlüssel vor Entdeckung schützen.

### ElGamal-Verschlüsselung

Dies ist im Grunde eine Erweiterung des obigen Verfahrens, um nicht nur einen Schlüssel auszutauschen, sondern eine Nachricht  $m$  noch gleich dazu - natürlich verschlüsselt. Seien wieder  $G$ ,  $n$  und  $P$  bekannt, und die Wahl der geheimen und öffentlichen Schlüssel aller Beteiligten geschehe wie oben.

- Tim, der eine Nachricht an Struppi schicken will, wähle eine Zahl  $k$  in  $\{1, 2, \dots, (n-1)\}$  und veröffentliche  $kP$  und  $kd_S P + m$ , welche er sich aus  $P$ , Struppis öffentlichem Schlüssel  $d_S P$  und natürlich seiner Nachricht  $m$  errechnen kann.  $k$  sollte dabei der Sicherheit halber für jede Nachricht neu gewählt werden.
- Struppi errechnet aus seinem  $d_S$  und dem ihm übermittelten  $kP$  nun  $d_S kP = kd_S P$  und subtrahiert dies von  $kd_S P + m$ , er erhält also  $kd_S P + m - kd_S P = m$ , also die Nachricht!

Wieder müsste ein Unbefugter das Problem des Diskreten Logarithmus lösen, um auf  $kd_S P$  und somit  $m$  zurückzuschließen.

### Elliptische Kurven

Versucht man, eines dieser beiden Verfahren etwa auf den Restklassenringen von  $\mathbb{Z}$  zu realisieren, so stellt man schnell fest, dass diese kaum geeignet sind - die Division ist noch zu einfach. Ganz anders sieht es hingegen aus, wenn man exotischere Gruppen nimmt: zum Beispiel die Punkte einer elliptischen Kurve! Wie in 3.9 erklärt, kann man auf einer elliptischen Kurve eine Gruppenstruktur definieren. Multiplikation entspricht mehrmaligem Anwenden der Addition, eine Division ist äquivalent zum Problem des Diskreten Logarithmus.

Sollte also irgendwann ein effizienter Faktorisierungs-Algorithmus gefunden werden, der das RSA-Schema unbrauchbar macht, könnten der Diskrete Logarithmus und die elliptischen Kurven durchaus unsere Rettung sein, und auch heute kommen sie schon in zahlreichen Gebieten zum Einsatz.

### Quellen

- Anette Werner: *Elliptische Kurven in der Kryptographie*, Springer Verlag, 2002

## 4 Physikkurs

### Geometrische und Wellenoptik

Im Physikkurs geht es dieses Jahr um die vielfältigen Phänomene der Optik:

- Geometrische Optik: Einfache Linsen, Linsensysteme, Abbildungsfehler und Farben sind einige der Themen, mit denen wir uns hier beschäftigen wollen (mit vielen Experimenten in Kleingruppen).
- Wie hell ist rot? Wie weiß ist weiß? Wie weit leuchtet eine Taschenlampe? Ein Einblick in die Photometrie.
- Warum Licht plus Licht Dunkelheit ergeben kann und was das mit dem Auflösungsvermögen von Mikroskopen zu tun hat - dies sind einige Fragen aus dem Bereich der Wellen- und Fourier-Optik.
- Ein kurzer Einstieg in die Quantenoptik schließt den Kurs ab.

Wir werden diese und weitere Phänomene untersuchen und haben dazu einen Lastwagen voller Experimente dabei.

### Kursleitung

*Dr. Wolf Aßmus*, Professor für Physik an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/M., Gerald Kucera-Professur für Materialforschung, Tätigkeit in der Lehrerausbildung

*Frank Schaun*, technischer Mitarbeiter an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/M.

### 4.1 Geometrische Optik

Miriam Müller  
Betreuerin: Maïke Drewing

#### Licht und Schatten

Der Mensch kann einen Gegenstand nur dann sehen, wenn von ihm ausgehendes Licht in sein Auge trifft. Dieses Licht kann entweder vom Gegenstand selbst emittiert werden, oder reflektiertes Licht sein, das von einer Quelle emittiert wird.

Wird ein Objekt von einer Seite beleuchtet, so kann man auf der unbeleuchteten Seite den Schatten sehen. Man unterscheidet Eigenschatten und Schlagschatten sowie Kern- und Halbschatten. Als Eigenschatten bezeichnet man den Schatten auf der unbeleuchteten Seite eines Objekts; der Schlagschatten ist der Schatten, den das Objekt wirft. Beleuchtet man einen Schirm mit einer ausgedehnten Lichtquelle und stellt ein Objekt in den Strahlengang, so ist der Kernschatten der Bereich im Schattenwurf, auf den keinerlei Licht fällt, wohingegen im Bereich des Halbschattens noch etwas Licht vorhanden ist. Dabei gehen diese Bereiche fließend ineinander über.

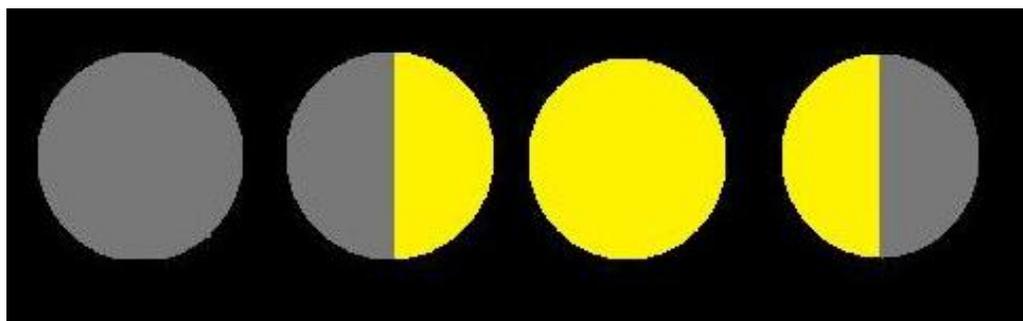
Ein Beispiel für Schatten ist eine Sonnenfinsternis. Dabei ist der Mond ein Hindernis für die Sonnenstrahlen und wirft einen Schatten auf die Erde, von der aus die Sonne dann verdunkelt erscheint.

Ein weiteres natürliches Phänomen, welches auf der Reflexion von Licht beruht, sind die Mondphasen. Der Mond umkreist die Erde in 27  $\frac{1}{3}$  Tagen und mit ihr einmal im Jahr die Sonne. Während seiner Reise um die Erde kann man von der Erde aus verschiedene Gestalten des Mondes erkennen. Nach 27  $\frac{1}{3}$  Tagen beginnt das Schauspiel von neuem.

Die Stellungen des Mondes nennt man (von links nach rechts): Neumond - die von der Sonne beschienene Seite des Mondes ist der Erde abgewandt, Halbmond - Die Sonne bescheint den Mond so, dass er

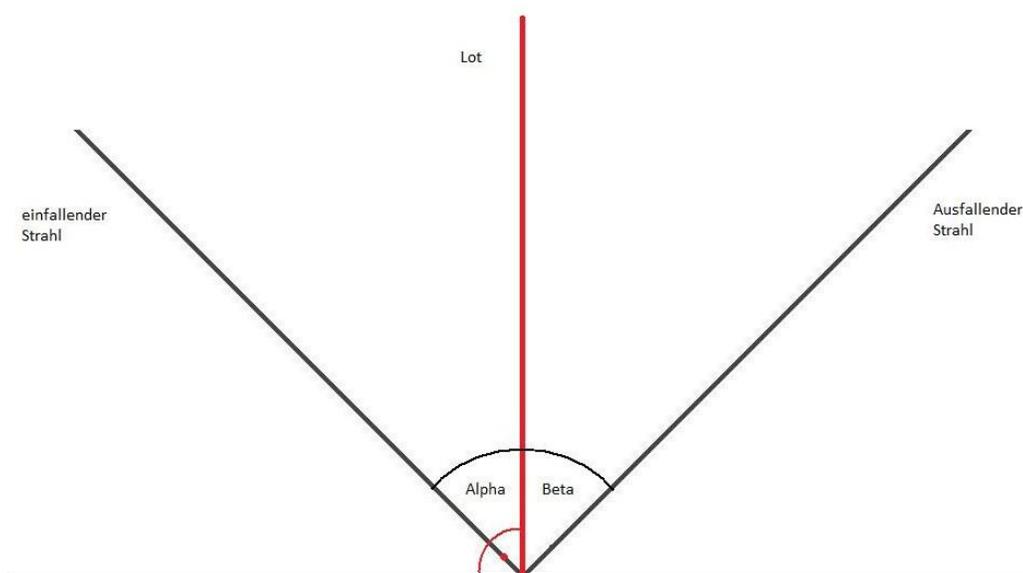
für den Beobachter auf der Erde zur Hälfte beleuchtet erscheint, Vollmond - die der Erde zugewandte Seite ist die beleuchtete Seite, Halbmond.

So, wie es in der Natur die Sonnenfinsternis gibt, gibt es auch die Mondfinsternis, bei der der Mond von der Erde abgeschattet wird. Mond- und Sonnenfinsternis sind allerdings selten, da sich Mond und Erde im Raum nicht auf derselben Ebene bewegen.



### Das Reflexionsgesetz

Zunächst gilt, dass ein Lichtstrahl, wenn er auf eine Grenzfläche zwischen zwei Medien trifft, ganz oder teilweise reflektiert wird. Das Gesetz, an das sich die Lichtstrahlen dabei halten, ist wunderbar einfach. Es besagt, dass der Einfallswinkel des Lichtstrahls gleich dem Ausfallswinkel des reflektierten Strahls ist, und dass einfallender Strahl und Einfallslot die Einfallsebene bilden, in der auch der ausfallende Strahl liegt. Ein Bild verdeutlicht dies:



Die Winkel werden dabei am Lot gemessen, welches senkrecht zur spiegelnden Fläche steht. Raue Flächen reflektieren das Licht diffus (in viele verschiedene Richtungen), während glatte Flächen regulär (in eine bevorzugte Richtung) reflektieren - das Reflexionsgesetz gilt aber weiterhin. Beim Spiegelbild handelt es sich um ein virtuelles Bild. In der Optik unterscheidet man das reelle von dem virtuellen Bild. Dabei ist es möglich, das reelle Bild auf einem Schirm abzubilden. Vom Ort des reellen Bildes gehen dabei wirklich Lichtstrahlen aus. Im Gegensatz dazu kann man das virtuelle Bild nicht auf einem

Schirm abbilden. Vom Ort des virtuellen Bildes gehen keine Lichtstrahlen aus, es erscheint dem Auge lediglich so.

## Quellen

- [http://de.wikipedia.org/wiki/Virtuelles\\_Bild](http://de.wikipedia.org/wiki/Virtuelles_Bild)
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Reelles\\_Bild](http://de.wikipedia.org/wiki/Reelles_Bild)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Spiegel>

## 4.2 Hohlspiegel und Brechung

Hannes Güdelhöfer  
Betreuerin: Maike Drawing

### Hohlspiegel

Als Hohlspiegel bezeichnet man einen Spiegel, der eine einheitliche Krümmung hat. Durch diese Krümmung werden, anders als bei einem ebenen Spiegel, die parallel eintreffenden Strahlen nicht parallel, sondern in den Brennpunkt auf der optischen Achse zurückgeworfen. Als optische Achse bezeichnet man die Strecke  $MS$ , wobei  $S$  der Scheitelpunkt und  $M$  der Mittelpunkt des Hohlspiegels ist. Mit dem Reflexionsgesetz kann man zeigen, dass der Abstand von  $FS = f$  gleich der Hälfte des Radius  $r$ , also  $MS$ , ist. Dies beweist man, indem man sich einen eintreffenden Strahl ansieht, der nahe an der optischen Achse liegt (vgl. Abb.). Die Punkte  $BMA$  bilden ein gleichschenkliges Dreieck, da  $\alpha_2 = \alpha_3$ , mit  $\beta = 180^\circ - 2\alpha$ . Deswegen können wir  $MF$  mit

$$\frac{BM}{r} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)}$$

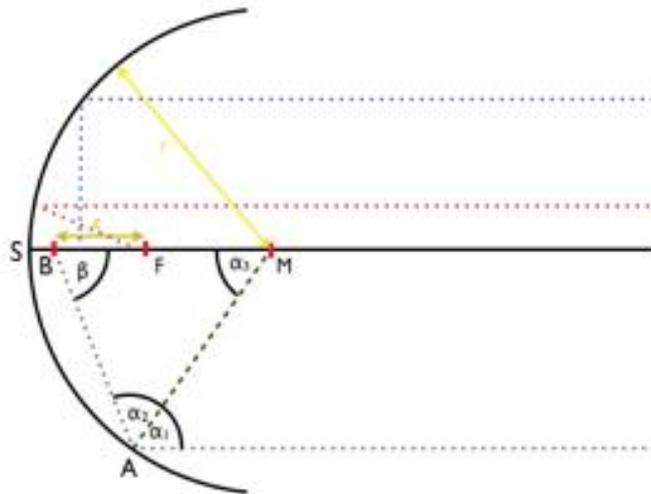
berechnen. Nach  $BM$  umgestellt erhält man

$$BM = \frac{r \cdot \sin(\alpha)}{\sin(180^\circ - 2\alpha)}$$

und  $\frac{\sin(\alpha)}{\sin(180^\circ - 2\alpha)} = \frac{1}{2 \cos(\alpha)}$ , also gilt für kleine Winkel  $\alpha$ :

$$f = \frac{1}{2}r$$

Für Strahlen mit größerem Einfallswinkel  $\alpha$  werden die Strahlen immer näher zum Scheitelpunkt hin reflektiert.



### Reelles und virtuelles Bild

Alle Strahlen, die von einem Punkt vor dem Hohlspiegel ausgehen, werden so von dem Spiegel reflektiert, dass entweder ein reelles Bild oder ein virtuelles Bild entsteht. Ein reelles Bild entsteht, wenn sich der Punkt weiter von dem Spiegel entfernt befindet als der Brennpunkt, ein virtuelles Bild entsteht, wenn der Abstand von dem Punkt zum Spiegel kleiner als  $f$  ist.

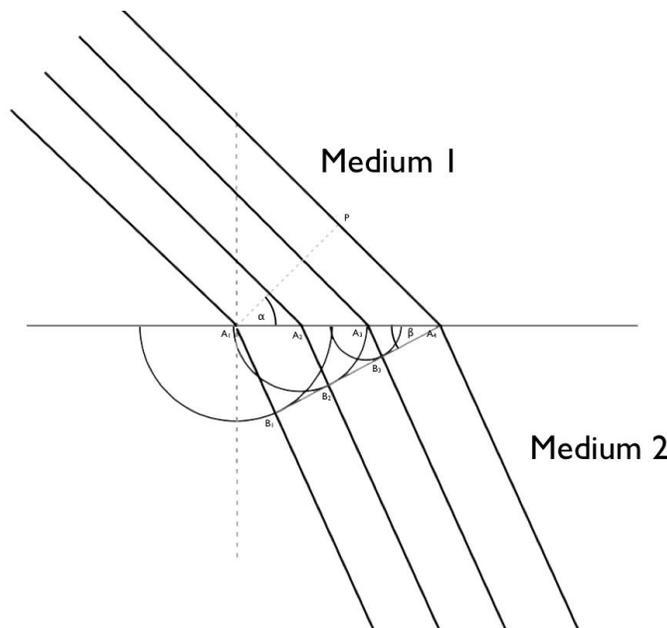
### Parabolspiegel

Eine besondere Art des Hohlspiegels ist der Parabolspiegel. Bei diesem ist der Spiegel nicht wie ein Kreis (oder eine Kugel) gekrümmt, sondern wie eine Parabel. Der Brennpunkt ist viel näher an dem Spiegel als bei einem normalem Hohlspiegel. Wenn man eine Lichtquelle in den Brennpunkt setzt, werden die von ihr ausgehenden Strahlen so reflektiert, dass ein paralleles Lichtbündel entsteht.

### Brechung

Wenn Licht auf die Grenzfläche zwischen zwei Medien fällt, erfährt es beim Übergang eine Richtungsveränderung (Brechung), weil es in verschiedenen Medien unterschiedliche Geschwindigkeiten besitzt: In Vakuum beträgt die Lichtgeschwindigkeit  $c = 2,99 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ , in Medien ist sie kleiner ( $v < c$ ).

Um das Brechungsgesetz herzuleiten, geht man von einer ebenen Welle aus, die unter dem Winkel  $\alpha$  schräg auf eine Grenzfläche zwischen zwei lichtdurchlässigen Medien fällt, z.B. von Luft ( $v = c$ ) auf ein Medium, in dem es sich nur noch mit der Geschwindigkeit  $v = \frac{c}{n}$  ausbreitet, wobei  $n$  der stoffspezifische Brechungsindex ist ( $n = \frac{c}{v}$ ). Wenn die Welle auf das Medium trifft, dann wird das Atom bei  $A_1$  zu Schwingungen angeregt, wodurch eine Kugelwelle im Medium angeregt wird. Dies passiert nacheinander bei  $A_2$ ,  $A_3$  und  $A_4$ , wenn die Welle die Grenzflächen erreicht. Da die Wellen sich in dem zweiten Medium langsamer ausbreiten als im ersten, gilt:



$$A_1B_1 = \frac{1}{n} \cdot PA_4 \quad (1)$$

Aus dem Schaubild leitet man ab:

$$\sin(\alpha) = \frac{PA_4}{A_1A_4} \quad (2)$$

$$\sin \beta = \frac{A_1B_1}{A_1A_4} \quad (3)$$

Durch Einsetzen von (1) in (3) erhält man:

$$\sin(\beta) = \frac{1}{n} \cdot \frac{PA_4}{A_1A_4} \quad (4)$$

Nun dividiert man (2) durch (4) und erhält:

$$\frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha)} = n \quad (5)$$

Dadurch können wir den Austrittswinkel berechnen, wenn wir den Eintrittswinkel und die Brechzahlen beider Medien kennen.

### Planparallele Platten

Es gibt einige besondere Fälle von Lichtbrechung, z.B. bei planparallelen Platten. Die schräg eintreffenden Strahlen werden hier zweimal so gebrochen, dass sie nur eine parallele Verschiebung erfahren. Die Verschiebung  $s$  kann hierbei mit

$$s = d \cdot \sin(\alpha) \cdot \left( 1 - \frac{\cos(\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha)}} \right)$$

berechnet werden.

### Prisma

Wenn ein Lichtstrahl schräg auf ein dreiseitiges Prisma fällt, wird der Lichtstrahl beim Durchgang durch jede Grenzfläche gebrochen. Beim Durchgang durch das Prisma wird das eintreffende Licht in die darin enthaltenen Farben aufgespalten, sodass man ein kontinuierliches Spektrum erhält. Das beruht darauf, dass rotes Licht weniger stark gebrochen wird als blaues Licht (Dispersion). So spalten

sich all die verschiedenen Wellenlängen auf. Etwas Ähnliches passiert auch bei einem Regenbogen. Nur werden die Lichtstrahlen in einem Regenbogen mehrfach gebrochen und totalreflektiert und somit aufgespalten.

## Quellen

- Staudt: „Experimentalphysik Teil 2“, Verlag Carl Grossmann. 7. Auflage, 1999

## 4.3 Totalreflexion

Daniel Grohé  
Betreuer: Alexander Dick

Wenn Licht von einem Medium auf ein anderes trifft (z.B. von Wasser auf Luft), so wird es teils gebrochen, teils reflektiert. Jedoch kann es auch geschehen, dass das komplette Licht reflektiert wird, wenn es vom dichteren ins optisch dünnere Medium übergeht. Ob dies geschieht, hängt von folgenden Faktoren ab:

- Einfallswinkel
- Brechzahl (optische Dichte) der Medien

Wichtig dabei ist, dass die Brechzahl, in dem sich das Licht befindet größer ist, als die des Mediums, auf welches das Licht trifft. Die Brechzahl ist das Verhältnis aus der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und der Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium ( $n = \frac{c_0}{c_M}$ ). Die Brechzahl gibt an, um welchen Faktor die Geschwindigkeit des Lichts kleiner ist als im Vakuum.

Ab einem bestimmten Einfallswinkel wird kein Licht mehr gebrochen. Um diesen „Grenzwinkel der Totalreflexion“ ( $\theta_K$ ) herauszufinden, kann man folgenden Versuch durchführen:

Man füllt ein Becken mit Wasser und legt eine Punktlichtquelle hinein. Dann verändert man den Einfallswinkel des Lichtstrahls so lange, bis der gebrochene Lichtstrahl exakt unter der Wasseroberfläche entlangläuft, also der Brechungswinkel  $90^\circ$  ist. Man misst den Einfallswinkel und erhält den Grenzwinkel der Totalreflexion.

Der Grenzwinkel der Totalreflexion ist der Einfallswinkel, bei dem noch keine Totalreflexion stattfindet. Der Einfallswinkel des Lichts muss also größer sein als der Grenzwinkel. Erst dann würde kein Lichtstrahl mehr in die Luft austreten.

### Errechnen des Grenzwinkels

Die Ausgangsformel ist die Brechungsformel:

$$\frac{\sin(\theta_{\text{Brechung}})}{\sin(\theta_K)} = \frac{n_2}{n_1}$$

$n_1$  steht für die Brechzahl des Mediums, in welches das Licht übergeht,  $n_2$  für das Medium, in dem es sich befindet. An der Grenze zur Totalreflexion ist der Ausfallswinkel  $90^\circ$  groß:

$$\frac{1}{\sin(\theta_K)} = \frac{n_2}{n_1}$$

Löst man diese Gleichung nach  $\theta_K$  auf, so erhält man folgende Formel:

$$\theta_K = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

**Beispiel**

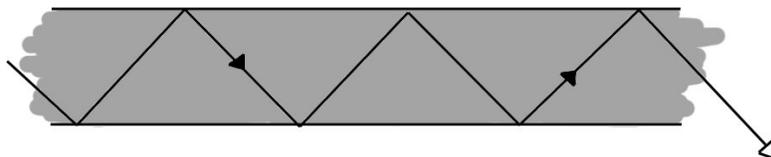
Licht geht von Wasser ( $n_1 = 1,33$ ) in Luft ( $n_2 \approx 1,0$ ) über:

$$\theta_K = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\right) \Rightarrow \theta_K = \arcsin\left(\frac{1}{1,33}\right) \Rightarrow \theta_K \approx 49^\circ$$

Wenn der Einfallswinkel des Lichts auf die Grenze zur Luft größer als  $49^\circ$  ist, findet also eine Totalreflexion statt.

**Anwendung**

...findet die Totalreflexion z.B. in der Medizin und der Telekommunikation. Lichtleiter leiten das Licht mit sehr geringen Lichtverlusten mithilfe der Totalreflexion:



Die Brechzahl von Glas ist je nach Herstellung variabel. Nehmen wir an, dass das Licht wie in einer Glasfaser von Flintglas mit der Brechzahl  $n_1 = 1,6$  auf die Grenze zur Luft ( $n_2 = 1$ ) trifft, dann ist der Grenzwinkel  $38,68^\circ$  groß.

**Quellen**

- Stadt: „Experimentalphysik“, Verlag Carl Grossmann

**4.4 Fermat'sches Prinzip, Linse, Brennweite und gekrümmte Strahlen**

Tobias Blum  
Betreuer: Christopher Wagner

**Fermat'sches Prinzip**

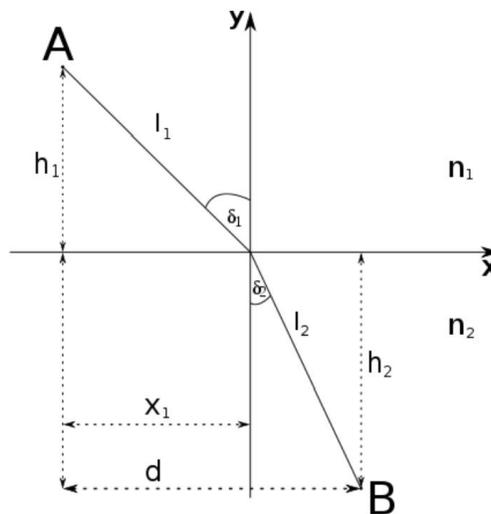
Das Fermat'sche Prinzip besagt, dass das Licht immer den zeitlich kürzesten Weg nimmt, um von der Lichtquelle zum Empfänger zu gelangen. Daraus folgt, dass das Licht beim Übergang von einem Medium in ein anderes gebrochen wird, da sich die Lichtgeschwindigkeiten in beiden Medien unterscheiden. Mit dem Fermat'schen Prinzip lässt sich aber auch das Reflexionsgesetz formulieren.

**Herleitung des Brechungsgesetzes mit dem Fermat'schen Prinzip**

Zuerst bestimmen wir die Zeit  $t$ , die das Licht von der Lichtquelle  $A$  bis zum Empfänger  $B$  benötigt. Sie beträgt

$$t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}$$

da das Licht zuerst die Strecke  $l_1$  mit der Geschwindigkeit  $v_1$  zurücklegt und danach die Strecke  $l_2$  mit Geschwindigkeit  $v_2$  (siehe Abbildung).



Nun kann man die Strecken  $l_1$  und  $l_2$  mit dem Satz des Pythagoras ersetzen, da es sich bei dem linken oberen und dem rechten unteren Dreieck um rechtwinklige Dreiecke handelt:

$$t = \frac{\sqrt{h_1^2 + x_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{h_2^2 + (d - x_1)^2}}{v_2}$$

Das Fermat'sche Prinzip sagt nun, dass das Licht den Weg mit der kürzesten Zeit nimmt. Das heißt, wir suchen den Wert für  $t$ , für den der Term den kleinsten Wert annimmt. Wir suchen also das Minimum der Funktion. Um dies zu bestimmen, können wir sie nun mit der Kettenregel ableiten.

$$\frac{dt}{dx_1} = \frac{x_1}{v_1 \cdot \sqrt{h_1^2 + x_1^2}} + \frac{-(d - x_1)}{v_2 \cdot \sqrt{h_2^2 + (d - x_1)^2}} = 0$$

Nun sieht man, dass in den beiden rechtwinkligen Dreiecken zusätzlich trigonometrische Funktionen gelten. Für  $\delta_1$  und  $\delta_2$  gilt also:

$$\sin \delta_1 = \frac{x_1}{\sqrt{h_1^2 + x_1^2}}, \quad \sin \delta_2 = \frac{d - x_1}{\sqrt{h_2^2 + (d - x_1)^2}}$$

Jetzt sieht man schnell, dass diese der obigen Ableitung sehr ähnlich sehen. Und zwar so ähnlich, dass man sie sogar oben einsetzen kann. Übrig bleibt also nur noch:

$$\frac{\sin \delta_1}{v_1} = \frac{\sin \delta_2}{v_2}$$

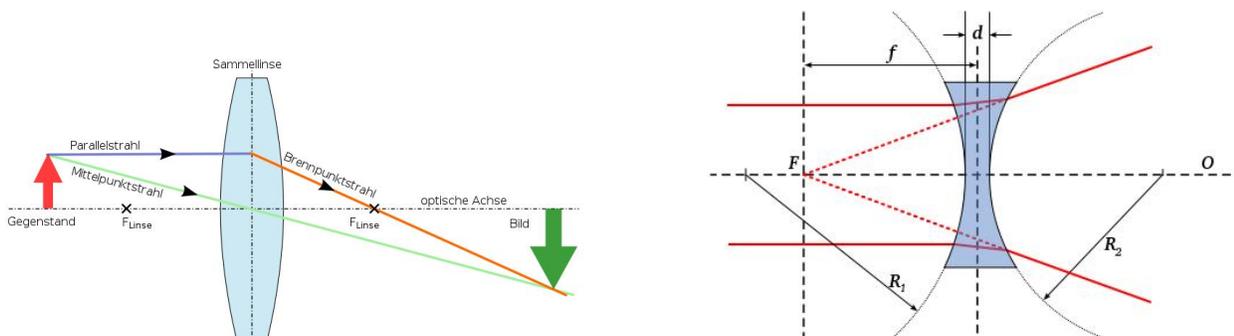
Daraus folgt nun verallgemeinert folgende Gleichung, die das Brechungsgesetz ist.

$$\boxed{\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2}}$$

### Linse und Brennweite

Es gibt konvexe Linsen, die nach außen gekrümmt sind und das Licht in der Regel sammeln, und konkave Linsen, die nach innen gekrümmt sind und das Licht in der Regel zerstreuen. Es gibt Linsen, die auf beiden Seiten konvex oder konkav sind, Linsen, die auf einer Seite flach sind, und Linsen, die an einer Seite konkav und an der anderen konvex sind.

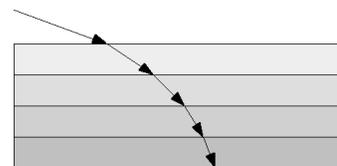
Einfallende Parallelstrahlen werden bei Sammellinsen zu Brennpunktstrahlen, Brennpunktstrahlen zu Parallelstrahlen und Mittelpunktstrahlen bleiben Mittelpunktstrahlen. Bei Zerstreuungslinsen gelten diese drei Regeln ebenfalls, nur dass die Brennweite negativ ist, das heißt auf der anderen Seite der Linse liegt.



Sammellinsen sammeln das Licht und fokussieren es in einem Punkt, so entstehen meistens reelle Bilder. Virtuelle Bilder entstehen nur, wenn der Gegenstand innerhalb der Brennweite steht. Wenn er genau auf der Brennweite steht, dann fallen die Strahlen alle parallel aus und es entsteht gar kein Bild, weil das Bild ins Unendliche rückt. Zerstreuungslinsen können keine reellen Bilder erzeugen, sie können nur virtuelle Bilder erzeugen.

### Gekrümmte Strahlen

Gekrümmte Strahlen entstehen durch eine kontinuierliche Brechung in der Luft, da es keine festen Grenzflächen gibt. Die Luft wird zum Beispiel bei zunehmender Höhe dünner und ihr Brechungsindex nimmt ab. Damit wird das Licht kontinuierlich zum Lot hin gebrochen und für den Beobachter wirkt es so als ob der Strahl gekrümmt ist.



### Quellen

- Bergmann-Schäfer, Optik, 9.Auflage, S. 48-59
- Giancoli, Physik, 3.Auflage, 2006
- [http://www.geometrische-optik.de/OPTIK-Texte-html/Kapitel3\\_Brechung.htm](http://www.geometrische-optik.de/OPTIK-Texte-html/Kapitel3_Brechung.htm)
- <http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/gk3a-2002/node12.html>
- Abbildungen: [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

## 4.5 Optische Instrumente

Bianca Kühnel  
Betreuerin: Maïke Drawing

### Das Auge

#### *Aufbau und Bildentstehung*

Die äußerste Schicht des menschlichen Auges ist die Hornhaut, die die vordere Augenkammer abschließt. In der vorderen Augenkammer befindet sich die Augenflüssigkeit. Hinter der vorderen Augenkammer

befindet sich die Augenlinse, bestehend aus vier Schichten eines durchsichtigen Gewebes. Der Ziliarmuskel verformt die Linse und bestimmt durch die Krümmung der Linse deren Brennweite, wobei die Iris als Blende fungiert. Hinter der Linse befindet sich der Glaskörper, der hinten mit der Netzhaut abschließt. Die Netzhaut besteht aus zwei verschiedenen Sorten Sehzellen: Den Zapfen, die durch ihre niedrige Lichtempfindlichkeit für das Sehen am Tag verantwortlich sind, und den Stäbchen, die aufgrund ihrer hohen Lichtempfindlichkeit für das Sehen in der Nacht verantwortlich sind. In der Fovea (Gelber Fleck) sind besonders viele Sehzellen. Es sind fast ausschließlich Zapfen. Im blinden Fleck dagegen, wo die Informationen an den Sehnerv weitergegeben werden, sind keine Sehzellen vorhanden.

Die stärkste Lichtbrechung findet an der Hornhaut statt. Die Brechungsindizes der Augenfläche, der Linse und des Glaskörpers liegen näher zusammen, sodass die an der Linse stattfindende Brechung nicht so stark ist. Daher stellt die Linse das Bild nur scharf, das heißt sie fokussiert so, dass ein scharfes Bild auf der Netzhaut erscheint.

### *Sehschärfe und Sehfehler*

Die Scharfstellung ist beim Auge nur im Intervall zwischen Fern- und Nahpunkt möglich. Bei einem gesunden Auge ist der Fernpunkt im Unendlichen, der Nahpunkt im Abstand der deutlichen Sehweite ( $s_0$ ) hängt vom Alter ab. Je älter die Person ist, desto weiter weg liegt der Nahpunkt und desto kleiner ist das Intervall.

Es gibt verschiedene angeborene Sehfehler, zum Beispiel den Astigmatismus, der durch eine Hornhautverkrümmung verursacht wird. Dabei treffen die Lichtstrahlen nicht in einen Punkt, sondern werden unterschiedlich stark gebrochen und meist entlang einer Strecke abgebildet.

Bei Kurzsichtigkeit ist der Augapfel zu lang, das Bild wäre vor der Netzhaut scharf fokussiert. Zur Korrektur werden konkave Linsen verwendet. Das Gegenteil ist die Weitsichtigkeit, sind sind die Augäpfel zu kurz und man kann nahe Gegenstände nicht mehr scharf sehen, da der Fokus hinter der Netzhaut liegt. Entsprechend ist zur Korrektur eine konvexe Linse nötig.

## **Die Lupe**

Eine Lupe besteht lediglich aus einer konvexen Linse, die den Sehwinkel  $\varepsilon_0$  und somit das Bild auf der Netzhaut vergrößert. Je größer der Winkel  $\varepsilon$ , unter dem man den Gegenstand  $G$  sieht, desto größer ist das Bild  $B$  auf der Netzhaut:  $\varepsilon = \frac{G}{s_0}$

Die Lupe vergrößert diesen Winkel zu  $\varepsilon_\infty$  in Abhängigkeit der Brennweite  $f$ :  $\varepsilon_\infty = \frac{G}{f}$

Wenn der Gegenstand in der Brennebene der Linse steht, so erreichen damit das Auge parallele Strahlen, der Gegenstand erscheint im Unendlichen. Die Vergrößerung  $V_\infty$  ist dann  $V_\infty = \frac{\varepsilon_\infty}{\varepsilon_0}$ .

Rückt man nun den Gegenstand so heran, dass die negative Bildweite des virtuellen Bilds der deutlichen Sehweite entspricht, so akkommodiert das Auge und die Vergrößerung wird um 1 gesteigert:

$$V_\infty = 1 + \frac{\varepsilon_\infty}{\varepsilon_0}.$$

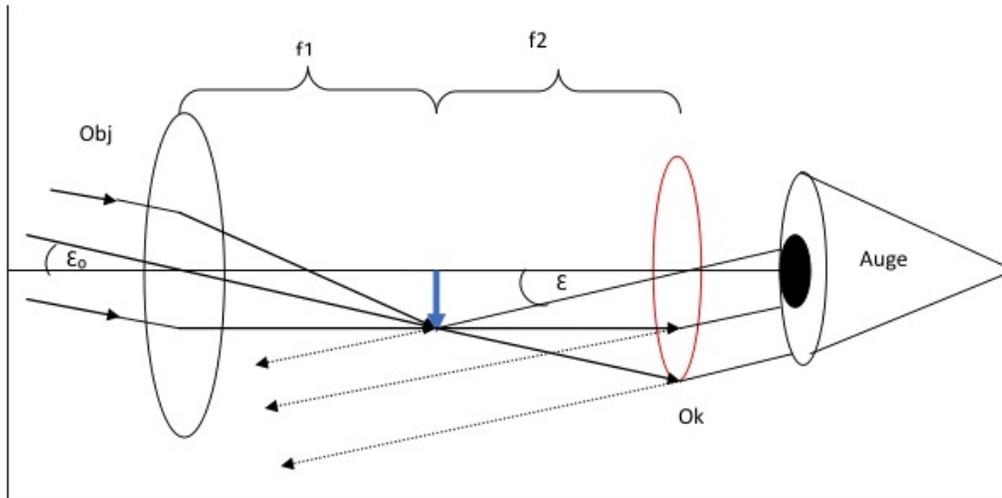
## **Das Fernrohr**

Zum Betrachten ferner Gruppen verwendet man Fernrohre, wobei der Sehwinkel vergrößert wird. Sie bestehen aus zwei Linsen, dem Objektiv und dem Okular. Drei Fernrohre sollen nun genauer betrachtet werden.

Das astronomische Fernrohr besteht im Prinzip aus zwei Sammellinsen. Durch die große Entfernung des Gegenstandes sind die Strahlen, die von ihm ausgehen, parallel. In der Brennebene des Objektivs entsteht nun ein reelles umgekehrtes Bild  $B_1$ . Das Okular erfüllt nun dieselbe Funktion wie eine Lupe und vergrößert dieses Zwischenbild, das zwar auf dem Kopf steht, was zwar aber zum Beispiel beim Betrachten der Sterne nicht stört.

$\varepsilon_0$  ist der Sehwinkel, unter dem man den Gegenstand ohne Fernrohr sehen würde,  $\varepsilon$  ist dagegen der Sehwinkel, unter dem man den Gegenstand mithilfe des Fernrohrs sieht.  $f_1$  ist die Brennweite des Objektivs,  $f_2$  die Brennweite des Okulars. Somit kann man die Vergrößerung  $V$  berechnen:

$$\varepsilon_0 = \frac{B_1}{f_1}, \quad \varepsilon = \frac{B_1}{f_2} \Rightarrow V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{f_1}{f_2}$$



Um möglichst viel Licht einzufangen, sollte der Durchmesser des Objektivs beim Fernrohr sehr groß sein.

Beim galileischen Fernrohr ist das Okular eine Zerstreuungslinse, dadurch ergeben sich zwei Vorteile: Das Fernrohr wird kürzer und das Bild ist aufrecht. Die Vergrößerung ist die gleiche wie beim astronomischen Fernrohr, nur muss man die Brennweite  $f_2$  in Betrag setzen, da sie negativ ist.

$$\varepsilon_0 = \frac{B_1}{f_1}, \quad \varepsilon = \frac{B_1}{|f_2|} \Rightarrow V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{f_1}{|f_2|}$$

Das keplersche oder terrestrische Fernrohr besitzt drei Sammellinsen. Dabei dreht die Linse zwischen Objektiv und Okular das Bild um, vergrößert es jedoch nicht weiter. Diese Linse liegt im Abstand der doppelten Brennweite zu den entsprechenden Bildern  $B_1$  und  $B_2$ . Dadurch ist die Konstruktion jedoch sehr groß. Mithilfe zweier Dachkantprismen anstatt der zusätzlichen Linse wird die Länge verringert und das Bild wird ebenfalls umgekehrt, wodurch das betrachtete Objekt wieder aufrecht stehend gesehen wird. Da die Herstellung von Linsen mit großen Durchmesser sehr teuer und schwierig ist, verwendet man oft sphärische Spiegel als Dachkantprismen.

## Quellen

- Hans J. Paul: Physik in Experimenten und Beispielen, 2. Ausgabe
- <http://www.filmscanner.info/Farbwahrnehmung.html>
- <http://www.orange-sinne.de/farbwahrnehmung.html>
- <http://www.wikipedia.de>
- <http://www.lasik-buchmann.de/hornhautverkruemmung.php>
- <http://www.tgs-chemie.de/sinnesorgane.htm>
- <http://www.wissenschaft-online.de>
- <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Augenempfindlichkeit-sensitivity-of-the-eye.html>

## 4.6 Abbildungsfehler und das Mikroskop

Tobias Gehl  
Betreuerin: Maike Drawing

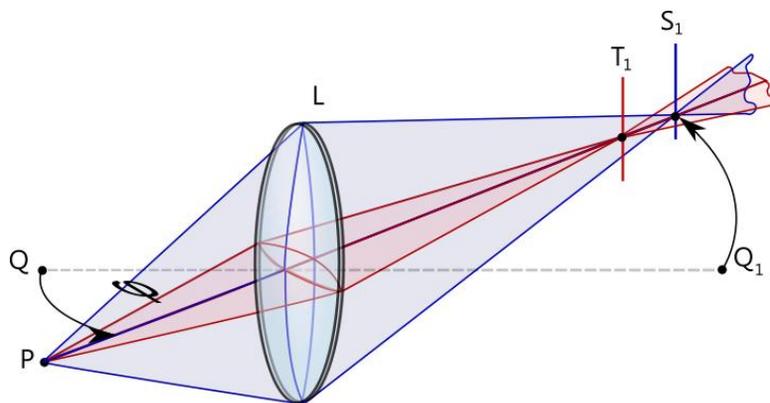
### Abbildungsfehler

Bei den Abbildungsgleichungen für Spiegel und Linsen geht man von idealen Bedingungen aus. Da diese Voraussetzungen aber in der Realität nicht immer erfüllt sind, kommt es zu Abbildungsfehlern.

Um sich die Berechnung des Brennpunktes leichter zu machen, geht man von achsennahen Strahlen aus, allerdings gibt es in der Realität auch achsenferne Strahlen. Diese führen zu Abbildungsfehlern wie der sphärischen Aberration, bei der sich achsenferne Strahlen, die parallel zur optischen Achse verlaufen, nicht im Brennpunkt schneiden. Um den Fehler zu beheben kann man Gradientenlinsen oder asphärische Linsen verwenden oder die Randstrahlen ausblenden.

Ein weiteres Beispiel ist die Koma. Sie tritt ein, wenn parallele Lichtstrahlen schräg auf eine Linse treffen. In diesem Fall werden sie nicht in einem Punkt fokussiert, sondern verwaschen abgebildet.

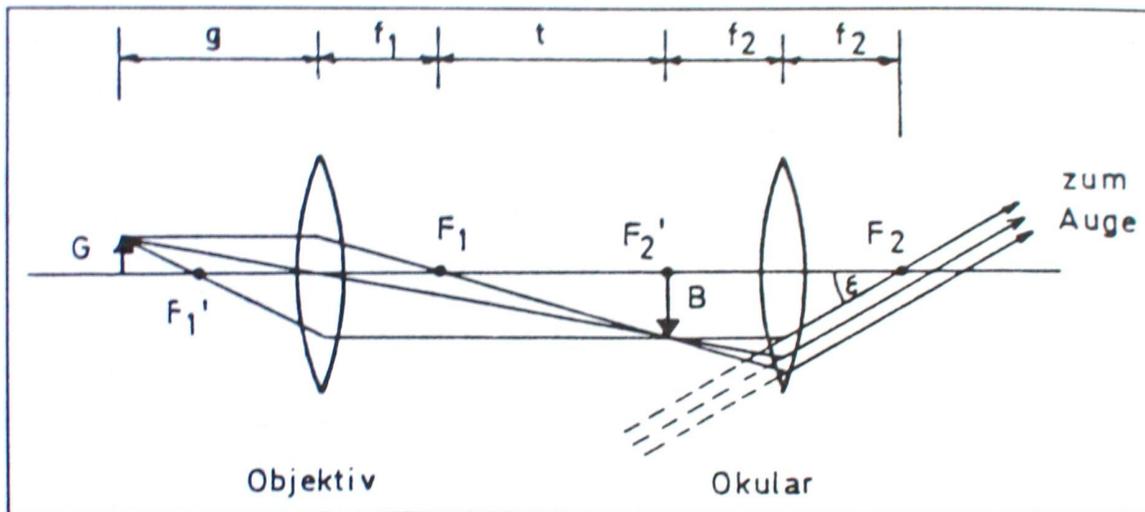
Ein weiterer Abbildungsfehler ist der Astigmatismus. Er tritt bei schräg einfallenden divergenten oder konvergenten Lichtbündeln auf, wenn sie gebrochen werden. Die Strahlen werden in zwei zueinander senkrechten Strichen fokussiert und nicht im Brennpunkt. Dieser Fehler kann durch Linsensysteme, sogenannte Anastigmaten, korrigiert werden.



Fast alle Linsenfehler lassen sich durch Ablenden beheben oder mindern. Allerdings fällt dann weniger Licht auf den Schirm und man braucht längere Belichtungszeiten, was sehr unpraktisch ist und es entstehen dadurch neue Bildfehler durch Beugung. Ein Beispiel ist die Verzeichnung. Steht die Blende vor der Linse, erscheint das Bild tonnenförmig verzeichnet, steht die Blende dahinter, ist das Bild kissenförmig verzeichnet. Diesen Fehler kann man beheben, indem man zwei Linsen verwendet und die Blende in die Mitte der Linsen setzt.

Ein weiterer Abbildungsfehler ist die chromatische Aberration. Sie entsteht wegen der Dispersion des Linsenmaterials (unterschiedliche Brechungsindices von Licht verschiedener Wellenlänge), die verursacht, dass blaues Licht stärker gebrochen wird als rotes. Dieser Fehler kann durch Linsensysteme oder Ausblenden der Randstrahlen korrigiert werden. Die Linsensysteme werden so gebaut, dass die blauen Strahlen wieder weiter von der Linse weg gebrochen werden.

## Das Mikroskop



Das Mikroskop besteht aus mindestens 2 Linsen (Linsensystemen), aus dem Objektiv (*Ob*) und dem Okular (*Ok*). Das Objektiv befindet sich am Objekt und das Okular am Auge. Der Tubus verbindet Objektiv und Okular. Das Objektiv erzeugt ein vergrößertes reelles Zwischenbild, welches mit dem Okular wie mit einer Lupe betrachtet wird. Die Vergrößerung wird durch die Lateralvergrößerung des Objektivs

$$\frac{B}{G} = \frac{t}{f_1}$$

und der Winkelvergrößerung des Okulars

$$V_{Ok} = \frac{s_0}{f_2}$$

multiplikativ zusammengesetzt, wobei  $t$  der Abstand der Brennebenen von Objektiv und Okular ist und  $l$  der Abstand der Linsen ( $l \approx t$ , da  $f_1$  und  $f_2$  sehr klein sind). Die Vergrößerung des Mikroskops ergibt sich somit zu

$$V_M = \frac{t \cdot s_0}{f_1 f_2} \approx \frac{l \cdot s_0}{f_1 f_2}$$

Somit wäre ungefähr eine 500-fache Vergrößerung zu erreichen. Die Vergrößerung ist aber nicht die entscheidende Größe, da das Auflösungsvermögen mindestens genauso wichtig ist. Es wird durch die Beugungseffekte begrenzt. Es bezeichnet den kleinsten Abstand, den zwei Objekte haben dürfen, damit sie noch als zwei Gegenstände erkannt werden können.

## Quellen

- Staudt: „Experimentalphysik“, Verlag Carl Grossmann

## 4.7 Optische Gitter und die Bragg-Gleichung

Jessica Hedderich  
Betreuer: Christopher Wagner

Optische Gitter bestehen aus vielen engen Einfachspalten, die in gleichmäßigem Abstand nebeneinander liegen, aus diesem Grund werden sie auch als Mehrfachspalte bezeichnet. Der Abstand zwischen den Spalten wird als Gitterkonstante bezeichnet. Man unterscheidet bei optischen Gittern je nach Funktion Amplituden- oder Phasengitter. Amplitudengitter bestehen aus einer Abfolge von durchlässigen und undurchlässigen Bereichen, Phasengitter bestehen hingegen aus dickeren und dünneren Bereichen, sodass Erhebungen und Rillen entstehen. Da das Licht nun unterschiedlich lange Wege durch das Medium durchlaufen muss, kommt es zu einer Phasenverschiebung. Zusätzlich werden optische Gitter in Transmissions- und Reflexionsgitter unterschieden. Transmissionsgitter sind für das Licht durchlässig. Reflexionsgitter sind dagegen für das Licht undurchlässig und reflektieren das Licht.

Wichtig für die Funktion eines optischen Gitters ist das physikalische Phänomen der Beugung und das der Interferenz. Trifft ein Lichtstrahl auf das Gitter, wird er gemäß des Huygensschen Prinzips gebeugt und breitet sich in den Schattenräumen des Gitters aus. Durch die Überlagerung dieser Lichtwellen kommt es zur Interferenz und es entsteht ein Interferenzmuster. Beträgt der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge, kommt es zur konstruktiven Interferenz. Auf dem Schirm hinter dem Gitter entstehen viele helle Bereiche, sogenannte Maxima. In der Mitte entsteht das Hauptmaximum, hier sind beide Wellen komplett phasengleich, es gibt also keinen Gangunterschied. Rechts und links des Hauptmaximums bilden sich schwächere Nebenmaxima. Zwischen diesen Maxima liegen dunkel erscheinende Minima, hier ist es zur destruktiven Interferenz gekommen. Die Lichtwellen haben sich aufgrund eines Gangunterschiedes eines ungeradzahliges Vielfachen der halben Wellenlänge ausgelöscht.

Zur Erläuterung werden unterschiedliche Ausführungen der Gitter betrachtet. Besteht ein Gitter aus einer linearen Kette von Atomen, sendet das angestrahlte Atom neue kreisförmige Wellen aus. Besteht ein Gitter aus mehreren Reihen von Atomen, spricht man von einem Flächen-Punkt-Gitter. Sind die Atomreihen zu einer räumlichen Figur angeordnet, spricht man von einem räumlichen Punktgitter. Die Gitterkonstante der Atome in x-Richtung wird mit dem Buchstaben a bezeichnet, die Gitterkonstante der Atome in y-Richtung mit dem Buchstaben b und die Gitterkonstante der Atome in z-Richtung mit dem Buchstaben c. Die angestrahlten Atome senden Kreiswellen aus, sowohl in x-, y-, als auch in z-Richtung. Für das Gitter aus einer linearen Kette von Atomen erhält man als Beugungsmuster Kreise. Die Kreiswellen, die die angestrahlten Atome des Flächen-Punkt-Gitters und des räumlichen Gitters aussenden, schneiden sich, sodass sich als Beugungsmuster ein Punktmuster ergibt.

$$a \cdot (\sin \alpha - \sin \alpha_0) = e \cdot \lambda$$

$$b \cdot (\sin \beta - \sin \beta_0) = f \cdot \lambda$$

$$c \cdot (\sin \gamma - \sin \gamma_0) = g \cdot \lambda$$

a, b, c: Gitterkonstanten

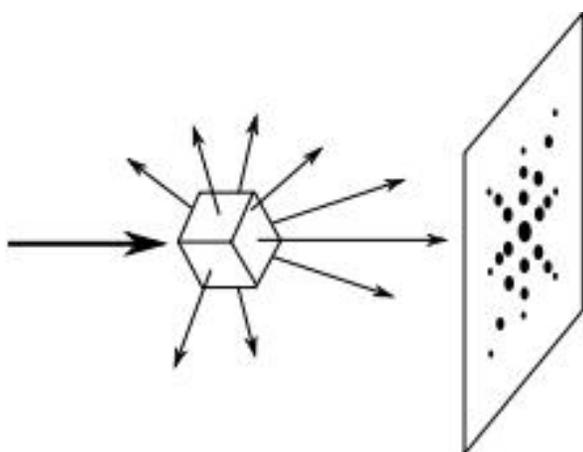
e, f, g: Ordnung der Maxima (0, 1, 2, ...)

$\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ : Einfallswinkel

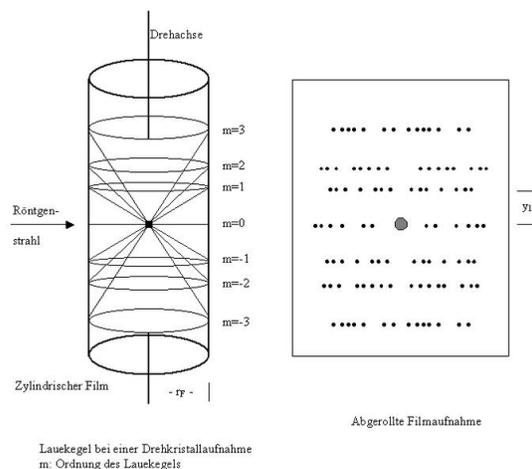
$\alpha, \beta, \gamma$ : Beugungswinkel

Zur Untersuchung der inneren Struktur eines Kristalls wird ein Einkristall mit Röntgenlicht bestrahlt, dieses Verfahren wird als Röntgenstrukturanalyse bezeichnet. Die Laue-Methode (siehe Abb. 1) eignet sich zur Untersuchung der Symmetrie des Kristalls, wodurch Rückschlüsse auf die innere Struktur

eines Kristalls gezogen werden können. Die Symmetrie des entstandenen Punktmusters spiegelt die Symmetrie des Kristalls wieder. Zur Bestimmung der Gitterkonstanten des Kristallgitters eignet sich die Bragg'sche Drehkristallmethode. Hierbei verwendet man einen zylinderförmigen Kristall, der um seine vertikale Achse gedreht wird (siehe Abb. 2). Der Kristall wird von einem kreisförmigen Film umgeben, auf dem sich durch die Bestrahlung mit Röntgenlicht ein Beugungsmuster ergibt. Mit Hilfe der Bragg-Gleichung  $2d \cdot \sin \alpha = n\lambda$  lässt sich schließlich die Gitterkonstante berechnen. Bei der Bestrahlung eines Kristalls mit Röntgenstrahlen dringt ein Großteil der Strahlung ungehindert durch. Bragg stellte jedoch fest, dass einige Strahlungsanteile an Ebenen innerhalb des Kristalls, die wie schwach versilberte Spiegel wirken, abgelenkt werden. Damit die Wellen konstruktiv interferieren können, muss der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches  $n$  der Wellenlänge  $\lambda$  betragen, daraus ergibt sich  $n \cdot \lambda = \Delta s$ .



(a) Abb. 1: Laue-Methode

Laukegel bei einer Drehkristallaufnahme  
m: Ordnung des Laukegels

(b) Abb. 2: Bragg'sche Drehkristallmethode

Ein uns aus dem Alltag bekanntes optisches Gitter ist eine CD. CDs haben eine durchgängige Rille von  $1,6\mu m$ , so wirken sie folglich wie ein Reflexions-Phasengitter. Fällt weißes Licht schließlich auf eine CD, wird es reflektiert und die Lichtstrahlen interferieren, sodass sich ein deutlich aufgefächertes Farbspektrum ergibt.

## Quellen

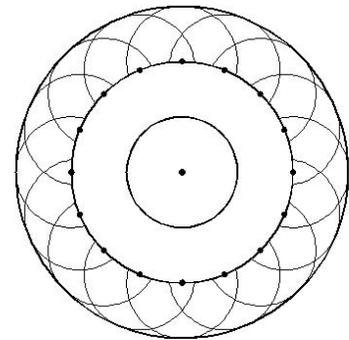
- Kittel, Charles: „Einführung in die Festkörperphysik“, Oldenburg Verlag, New York, 14. Auflage, 2005, Seite 28 - 31
- Paus, Hans J.: „Physik in Experimenten und Beispielen“, Hanser, München, 2. Auflage, 2002, Seite 727 - 737
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Optisches\\_Gitter](http://de.wikipedia.org/wiki/Optisches_Gitter)
- <http://www.physik.fu-berlin.de/schulkontakte/physlab/labor/img/Lichtbeugung.pdf>
- <http://www.ieap.uni-kiel.de/surface/ag-berndt/lehre/aprakt/teil-1/mikbiauf.pdf>
- <http://www.fh-flensburg.de/ph/downloads/o1.pdf>
- <http://schulphysik.info/HTML-Skripte/Wellen/Wellen.html#Interferenz>

## 4.8 Das Huygens'sche Prinzip

Philipp Risius  
Betreuer: Christopher Wagner

### Das Huygenssche Prinzip

Licht verläuft in Strahlen, die sich geradlinig von der Lichtquelle aus in alle Richtungen ausbreiten. So stellte man sich lange Zeit die Natur des Lichtes vor, auch heute noch ist diese Sichtweise im Alltag vorherrschend, manche Phänomene lassen sich mit dieser Vorstellung gut beschreiben. Doch vor circa 350 Jahren erkannte der niederländische Physiker Christiaan Huygens, dass Licht wie auch der Schall eine Welle ist, auch wenn er noch nicht wusste, woraus genau Licht besteht. Das Huygenssche Prinzip, ein wichtiges Ergebnis seiner Betrachtungen, besagt, dass jeder Punkt einer Wellenfront selbst Quelle einer halbkugelförmigen Elementarwelle ist. Die Überlagerung dieser Elementarwellen ergibt dann eine neue Wellenfront. In der Grafik rechts sieht man, wie sich eine kreisförmige Welle nach dem Huygensschen Prinzip ausbreitet: Im Zentrum ist der Erreger der Welle. Er sendet konstant kreisförmige Wellen aus. Diese breiten sich aus, indem jeder einzelne Punkt der Wellenfront (hier durch 16 Punkte repräsentiert) seinerseits Elementarwellen aussendet, die sich überlagern und zusammen die neue Wellenfront bilden.

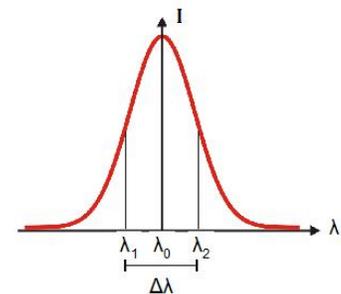


Mit diesem Wissen über die Natur des Lichtes lassen sich Phänomene der klassischen Optik deuten, zum Beispiel die Reflexion. Wir wissen, dass der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist - aber warum ist das so? Huygens liefert die Antwort: Trifft eine Wellenfront auf eine glatte, spiegelnde Oberfläche, sendet jeder Punkt der Oberfläche, der von der Welle getroffen wird, Elementarwellen aus. Diese überlagern sich und bilden die reflektierte Welle. Durch einfache Geometrie kann man nun sehen, dass der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel entspricht. Mit ähnlichen Gedankengängen lassen sich auch Beugung und Brechung verstehen.

### Kohärenz

Wenn Licht gut sichtbar interferieren kann, nennen Physiker dieses Licht „kohärent“. Damit Licht kohärent ist, muss zunächst eine zentrale Bedingung erfüllt sein: Zwischen den Lichtstrahlen A und B, die interferieren sollen, muss eine konstante Phasenbeziehung herrschen. Das bedeutet, dass wir in der Lage sein müssen, den Zustand des Lichtstrahls B mit ausreichender Sicherheit vorhersagen zu können, wenn wir den Zustand des Lichtstrahls A kennen.

Licht aus zwei verschiedenen Quellen kann offensichtlich nicht interferieren, da beide Quellen völlig unabhängig voneinander strahlen. Wir brauchen also Licht von einer einzigen Lichtquelle, das wir aufteilen, unterschiedliche Strecken laufen lassen und dann mit sich selbst interferieren lassen. Die Differenz der Strecken wird Gangunterschied  $\Delta r$  genannt. Damit Lichtstrahlen mit dem Gangunterschied  $\Delta r$  also noch interferieren können, muss eine feste Phasenbeziehung zwischen einem Lichtstrahl und seiner um  $\Delta r$  versetzten Kopie herrschen. Da Licht jedoch nicht gleichmäßig entsteht, sondern in vielen ca.  $10^{-8}$  Sekunden dauernden Emissionsakten, ist die für herkömmliche Lichtquellen maximal mögliche Kohärenzlänge auf ca. 3 Meter begrenzt. Licht ist außerdem nie monochromatisch, selbst Natriumdampflampen mit eng begrenzten Spektrallinien strahlen Licht mit mehr

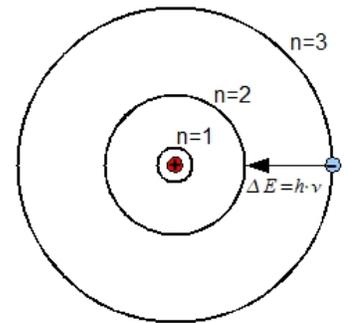


als einer Wellenlänge aus. Das hat unmittelbare Folgen für die Kohärenzlänge: Damit die Interferenz gut sichtbar ist, muss Licht von den Wellenlängen  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  (bei  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  ist die Intensität  $I$  halb so groß wie bei  $\lambda_0$ ) gleichartig interferieren: Wenn es bei Licht der Wellenlänge  $\lambda_0$  zu einer konstruktiven Interferenz kommt, darf es erst bei  $\lambda_1$  zu einer destruktiven Interferenz kommen, damit die Interferenz insgesamt sichtbar bleibt. Diese Bedingung lässt sich auch mathematisch formulieren, sodass sich die Kohärenzlänge anhand der Wellenlänge  $\lambda_0$  und der Linienbreite  $\Delta\lambda$  ausrechnen lässt.

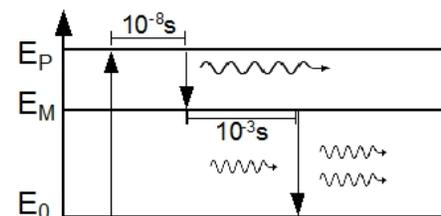
Diese Betrachtungen gelten jedoch nur für punktförmige Lichtquellen. In der Realität sind Lichtquellen jedoch immer ausgedehnt, woraus sich weitere Schwierigkeiten ergeben, da auch das Licht von verschiedenen Punkten der Lichtquelle gleichartig interferieren muss (Räumliche Kohärenz).

### Laser

Mit Lasern ist es im Vergleich zu herkömmlichen Lichtquellen viel einfacher, Interferenzen zu erzeugen: Diese Geräte, die in CD-, DVD- und Blu-Ray-Playern und vielen anderen Geräten unseren Alltag längst erreicht haben und auch in der Industrie eine wichtige Rolle spielen, zeichnen sich durch sehr monochromatisches Licht (mit geringer Linienbreite  $\Delta\lambda$ ) und eine sehr große Kohärenzlänge aus. Dies rührt daher, dass Laser, anders als gewöhnliche Lichtquellen, nicht auf spontane Emission angewiesen sind, sondern nach dem Prinzip der *stimulierten Emission* funktionieren. Doch wie läuft Lichtemission überhaupt ab? Dafür müssen wir einen Abstecher zu den Bausteinen der Materie, den Atomen, machen. Das Bohrsche Atommodell besagt, dass es diskrete Bahnen gibt, auf denen sich die Elektronen um den Atomkern bewegen können. Dabei haben sie eine ganz bestimmte Energie, die sich aus der Bahn, auf der sie sich befinden, ergibt. Beim Übergang eines Elektrons von einer höheren Bahn auf eine niedrigere Bahn wird ein ganz bestimmter Betrag an Energie in Form eines Photons frei. Normalerweise geschieht dieser Prozess spontan, doch es kann auch vorkommen, dass ein Photon mit einer Frequenz, die genau der Energiedifferenz der Elektronenbahnen entspricht, das Elektron zur Aussendung eines in Phase, Energie und Ausbreitungsrichtung identischen Photons anregt.



Diesen Vorgang, die stimulierte Emission, machen sich Laser zunutze. Im aktiven Lasermedium, welches ein Gas, ein Feststoff oder eine Lösung sein kann, werden zunächst Elektronen vom Grundzustand  $E_0$  auf ein höheres Energieniveau gebracht. Dieses *Pumpen* geschieht durch Licht, z.B. eine Blitzlichtlampe, elektrischen Strom oder chemische Reaktionen. Von dem Pumpenergieniveau  $E_P$  gehen die Elektronen innerhalb kürzester Zeit auf ein metastabiles Energieniveau  $E_M$  über, in dem sie 100.000 mal länger bleiben können. Trifft nun ein Photon mit der Energiedifferenz zwischen  $E_M$  und  $E_0$  auf das Elektron, geht dieses in den Grundzustand über und sendet ein identisches Photon aus. Das Laserlicht wird nun noch einige Male im Lasermedium hin- und hergeworfen, wobei der Strahl verstärkt wird und schließlich in kurzen, energiereichen Pulsen oder kontinuierlich aus dem Resonator entlassen wird.



### Quellen

- Staudt: „Experimentalphysik“, Verlag Carl Grossmann

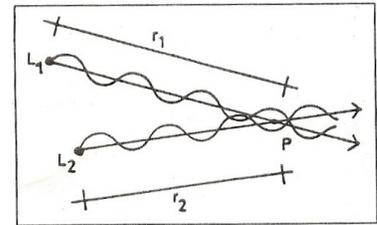
### 4.9 Interferenz und Beugung

Frederik Mankel  
 Betreuer: Alexander Dick

#### Interferenz

Unter Interferenz versteht man die ungestörte Überlagerung von Einzelwellen. Sonderfälle sind die destruktive (auslöschende) oder konstruktive (verstärkende) Interferenz.

Zum genaueren Erläutern dieses Vorganges nehmen wir folgende Abbildung. In dieser überlagern sich zwei Wellen gleicher Frequenz von zwei punktförmigen Lichtquellen ausgehend. Um Interferenzen sehen zu können müssen die Wellen jedoch kohärent zueinander sein, dass heißt eine zeitlich, konstante Phasendifferenz besitzen. Dies lässt sich z.B. mit einem Laser erreichen. Außerdem müssen die Wellen gleich polarisiert sein und möglichst die gleiche Amplitude besitzen. Diese Voraussetzungen sind in den Formeln der Feldstärken alle erfüllt.



$$E_1 = E_{10} \cdot \cos\left(2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \frac{\delta_1}{2\pi}\right)\right)$$

$$E_2 = E_{20} \cdot \cos\left(2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \frac{\delta_2}{2\pi}\right)\right)$$

$E_{10}, E_{20}$ : Amplituden der jeweiligen Welle

$r_1, r_2$ : Abstand von  $L_1$  bzw.  $L_2$  zu  $P$

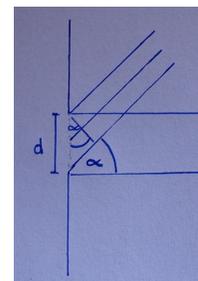
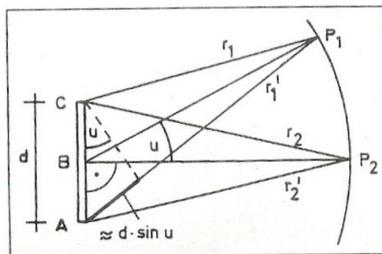
$\delta_1, \delta_2$ : Phasenkonstante

$\lambda$ : Wellenlänge

$T$ : Schwingungsdauer

Zudem ist es wichtig, dass die Kohärenzbedingungen erfüllt sind. Die zeitliche Kohärenzbedingung besagt, dass die Zeit, welche die Wellen benötigen, bis sie aufeinandertreffen, unterschiedlich sein darf. Die Winkelkohärenzbedingung besagt, dass der Gangunterschied für ausgedehnte Lichtquellen viel kleiner als  $\frac{\lambda}{2}$  sein muss.

$$\left| |r_1 - r_2| - |r'_1 - r'_2| \right| \ll \frac{\lambda}{2}$$



Des Weiteren ist das Huyghens-Fresnelsche Prinzip in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung. Dieses besagt, dass in einer Wellenebene jeder Wellenpunkt zum Ausgangspunkt einer neuen Kugelwelle wird. Wir betrachten die Interferenzerscheinungen am Spalt. Strahlt man mit einer kohärenten Lichtquelle auf einen Spalt, so entstehen Interferenzstreifen (siehe Abb.). Diese entstehen durch die

Überlagerung von Elementarwellen. Um dieses Phänomen zu erklären, teilt man die Wellen in ganz viele kleine Teilbündel. Die destruktive bzw. konstruktive Interferenz ist vom Gangunterschied der durch die Beugung entstehenden Wellen abhängig. Beträgt der Gangunterschied  $\frac{\lambda}{2}$  oder ein ganzzahliges Vielfaches, so treffen zwei Wellen mit einem Gangunterschied aufeinander (ein Wellenberg und ein Wellental) und es entsteht ein Intensitätsminimum (Auslöschung). Beträgt der Gangunterschied jedoch  $\lambda$  oder ein ganzzahliges Vielfaches davon, so entsteht ein Maximum, da Wellenberg auf Wellenberg trifft.

Die Interferenzbedingung am Spalt lautet somit:

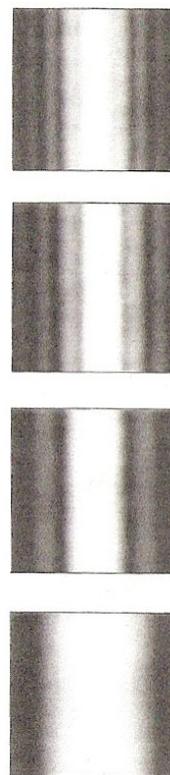
Auslöschung:  $d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$ ,  $n \in \mathbb{N}_0$

Verstärkung:  $d \cdot \sin \alpha = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ ,  $n \in \mathbb{N}_0$

### Beugung an einfachen Strukturen

Beugungen sind Ablenkungen von Wellen, welche nicht auf Reflexion oder Brechung zurückzuführen sind, sondern durch Auftreffen auf Hindernisse verursacht werden. Bei Beugung am Spalt gibt es abhängig von der Größe des Spaltes unterschiedliche Erscheinungen. Bei einem sehr großen Spalt ist das Spaltbild nicht scharf, sondern von vielen schmalen Interferenzstreifen berandet. Erklärt wird dies durch die Teilwellen, welche sich begegnen und konstruktiv oder destruktiv interferieren. Bei einem etwas kleineren Spalt können viele kugelförmige Elementarwellen entstehen, die miteinander interferieren und der Winkel  $\alpha$  ist größer um einen Gangunterschied zu erreichen. Dies ist der Grund, weshalb die Interferenzstreifen breiter werden und sich nach außen verschieben. Wenn der Spalt ganz klein ist, ist die Erscheinung gleichmäßig hell. Dies liegt daran, dass nur eine kugelförmige Elementarwelle entsteht.

Als weiteres Beispiel dient die Beugung an einer runden Scheibe. Eine undurchsichtige, kleine Metallscheibe wird von einer kohärenten Lichtquelle angestrahlt. Dies hat zur Folge, dass die Scheibe einen schwarzen Fleck hinten auf einen Schirm wirft. Dieser besteht bei genauerer Betrachtung aus mehreren konzentrischen Interferenzringen. Außerdem erscheint in der Mitte des schwarzen Flecks ein heller Fleck. Dieser wird Poisson-Fleck genannt. Erklärt wird die Erscheinung mit Hilfe des Huygens-Fresnelschen Prinzips. Von den Punkten des Scheibenrandes gehen kugelförmige Elementarwellen aus, welche konstruktiv und destruktiv interferieren. Jedoch sind die destruktiven Interferenzen sowieso nicht zu sehen, da der Bereich hinter der Scheibe dunkel ist.



### Quellen

- Staudt: „Experimentalphysik“ Teil 1 und 2, Verlag: Carl Grossmann, 7. Auflage, Tübingen 1999

## 4.10 Auflösung von Mikroskopen

Julian Moxter  
Betreuerin: Maike Drawing

### Auflösungsvermögen von Lichtmikroskopen

Mit Auflösungsvermögen bezeichnet man die Fähigkeit der Linse unterscheidbare Bilder von zwei punktförmigen, dicht benachbarten Objekten zu erzeugen, ohne dass eine überlappende Intensitätsverteilung entsteht. Je näher die zwei Bildpunkte beieinander liegen und immer noch unterscheidbar

sind, umso höher ist das Auflösungsvermögen der Linse. Die Auflösung einer Linse wird durch zwei Hauptfaktoren beschränkt. Der erste Hauptfaktor sind die Abbildungsfehler der Linsen. Ein Beispiel dafür wäre, dass ein punktförmiges Objekt aufgrund der Abbildungsfehler der Linse nicht als Punkt abgebildet wird sondern als ein kleiner Fleck. Die Abbildungsfehler können durch sorgfältiges konstruieren der Linsen signifikant reduziert, aber niemals ganz vermieden werden. Der nicht vermeidbare Hauptfaktor, der die Auflösung beschränkt, ist die Beugung des Lichts. Eine Korrektur des Faktors ist nicht möglich, weil es sich hierbei um eine Folge der Wellennatur des Lichts handelt. Unter Beugung versteht man das Phänomen, dass Licht bei seiner Ausbreitung durch Hindernisse abgelenkt wird. Das Licht breitet sich nach dem Durchgang durch einen schmalen Spalt über einen großen Bereich aus. Durch die Ablenkung der Lichtstrahlen entstehen Beugungsmuster, da die einzelnen Strahlen unterschiedlich lange Wege zurücklegen und dabei miteinander interferieren.

### Die Theorie von Abbe

Abbe ging bei seiner Theorie von nicht selbstleuchtenden, durchstrahlten Objekten aus. Er stellte die Bedingung auf, dass bei der Entstehung des reellen Zwischenbildes im Mikroskop alle Beugungsordnungen beteiligt sind. Je weniger Beugungsanordnungen ins Objektiv eintreten können, desto unschärfer wird das Bild. Das Gesichtsfeld ist dann gleichmäßig erleuchtet (d.h. man sieht keine Strukturen im Bild), wenn nur das Maximum nullter Ordnung ins Objektiv gelangt. Durch den Versuch, ein feinmaschiges, durchstrahltes Kreuzgitter durch ein Mikroskop zu beobachten, gelang es Abbe, die Bedingung für den Mindestabstand zu ermitteln. Er beobachtete das Kreuzgitter durch ein Mikroskop, wobei zwischen Objekt und Objektiv ein vertikaler Spalt mit der Breite  $b$  befand. War der Spalt weit geöffnet, sah er ein scharfes Bild. War der Spalt fast geschlossen, wurden nur noch die horizontalen Striche abgebildet. Die vertikalen Linien können in diesem Versuch wegen der fehlenden Beugungsordnungen nicht mehr abgebildet werden, da maßgeblich die Strahlen gebeugt werden, die „das Gitter gesehen haben“, also Information tragen. Die Strahlen können nicht mehr ins Objektiv eindringen. Abbe zeigte mit diesem Versuch, dass zumindest das Beugungsmaximum erster Ordnung ins Objektiv gelangen muss, um eine Abbildung zu erhalten. Dazu muss der Aperturwinkel  $u$  mindestens so groß sein wie der Winkel, unter dem das erste Beugungsmaximum auftritt. Für das erste Maximum gilt  $g \cdot \sin u = \lambda$ , wobei  $\lambda$  die Wellenlänge und  $g$  die Gitterkonstante, bzw. der Mindestabstand ist, unter dem zwei Punkten noch als getrennt abgebildet werden. Diese Formel wird umgestellt nach dem Mindestabstand  $g_{min}$  und es ergibt sich die Formel

$$g_{min} = \frac{\lambda}{\sin u}$$

Die minimale Gitterkonstante kann nun durch den Brechungsindex  $n$  noch geringfügig herabgesetzt werden:

$$g_{min} = \frac{\lambda}{n \cdot \sin u}$$

Das Auflösungsvermögen liegt beim Lichtmikroskop zwischen 200 und 300 nm.

### Elektronenmikroskope

Louis de Broglie erweiterte 1923 die Theorie des Welle-Teilchen-Dualismus. Der Wellen-Teilchen-Dualismus bezieht sich auf die Vorstellung, dass Licht Wellen- und Teilcheneigenschaften besitzt. De Broglie machte den Vorschlag, dass Masseteilchen ebenfalls Welleneigenschaften besitzen können. Analog zum Photon sollte demnach die Wellenlänge  $\lambda$  folgendermaßen mit dem Impuls  $p$  des Teilchens verbunden sein:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

wobei  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum ist. Die Vorstellung, dass Elektronen Welleneigenschaften besitzen können, führte zur Entwicklung des Elektronenmikroskops. Diese Mikroskope können Bilder mit viel höherer Auflösung produzieren als ein Lichtmikroskop. Es gibt verschiedene Arten von Elektronenmikroskopen, z.B. das Transmissionselektronenmikroskop und das Rasterelektronenmikroskop, das sich aber in der Bildentstehung stark vom TEM unterscheidet.

In einem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) wird die Probe von Elektronen durchstrahlt. Dadurch lassen sich Bilder von inneren Strukturen von Zelle oder Organellen erzeugen. Das Auflösungsvermögen des Transmissionselektronenmikroskops beträgt in der Praxis 0,1 nm bis 0,5 nm. Diese Auflösung ist so groß wie die des Lichtmikroskops. Mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht man die Oberfläche einer Probe. Das REM liefert ein vergrößertes Bild von der Oberfläche der Probe mit hoher Schärfentiefe. Es hat ein geringeres Auflösungsvermögen als das TEM (größer als 1 nm). Bei beiden Mikroskopen werden Spulen als magnetische Linsen verwendet. Die fokussierende Wirkung ergibt sich durch die auf die Elektronen wirkende Lorentz-Kraft. Das Auflösungsvermögen für Objektdetails liegt sehr nahe im Bereich der Wellenlänge der Strahlung, in diesem Fall Elektronenstrahlen. Die Elektronen besitzen eine Wellenlänge von 0,004nm, die maximale Auflösung liegt daher in diesen Bereich, wobei Abbildungsfehler der magnetischen Linsen das Auflösungsvermögen von Elektronenmikroskopen begrenzen.

Die Elektronenmikroskope sind wegen ihres hohen Auflösungsvermögens ein Schlüsselwerkzeug in der Nanotechnologie. Ein Elektronenmikroskop besteht aus einer Mikroskopsäule, in der Vakuum herrscht, damit die Elektronen nicht von Gasmolekülen abgelenkt werden. Außerdem schirmt die Säule das Innere vor magnetischen Einflüssen ab, damit die Messung korrekt abläuft. An der Spitze der Säule befindet sich die Elektronenquelle, in der die Elektronen durch eine Spannung beschleunigt werden. Die Spannung zwischen Kathode und Anode bestimmt die Energie der Elektronen. Die Elektronen verlassen die Elektronenquelle und werden von magnetischen Linsen (Spulen) abgelenkt, damit sie das Objekt gleichmäßig ausleuchten. Die Spulen sind regelbar, damit ist die Brennweite einer Spule verstellbar. Die Elektronen durchstrahlen bei ihrem Weg nach unten das Objekt, das sich auf dem Objektstisch befindet. Dieser ist von außen durch Räder verstellbar, damit man das Objekt von verschiedenen Blickwinkeln aus beobachten kann. Anschließend werden die Elektronen bei einem TEM durch eine Projektivlinse auf den Fluoreszenzschirm gebündelt. Das Bild wird dann auf einem Computerbildschirm abgebildet. Beim REM werden die durch den Elektronenstrahl aus der Probe beförderten Sekundärelektronen von einem Detektor aufgefangen.

## Quellen

- Douglas, C. Giancoli: „Physik“, München 2006
- Staudt: „Experimentalphysik“, Teil 2
- Dorn Bader: „Physik Mittelstufe“, Hannover 2001

## 4.11 Polarisation von Licht

Thomas Maetz  
Betreuer: Alexander Dick

Polarisation beschreibt die Schwingungsebene einer Schwingung. Schwingt Licht nur in einer Ebene, so ist es vollständig polarisiert. Andernfalls handelt es sich um eine nichtpolarisierte Schwingung. Der Polarisationsgrad gibt den Anteil der Intensität des polarisierten Lichtes im Vergleich zur Gesamtintensität an. Im Gegensatz zu Transversalwellen, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingen, können Longitudinalwellen, die in ihrer Ausbreitungsrichtung schwingen, nicht polarisiert werden.

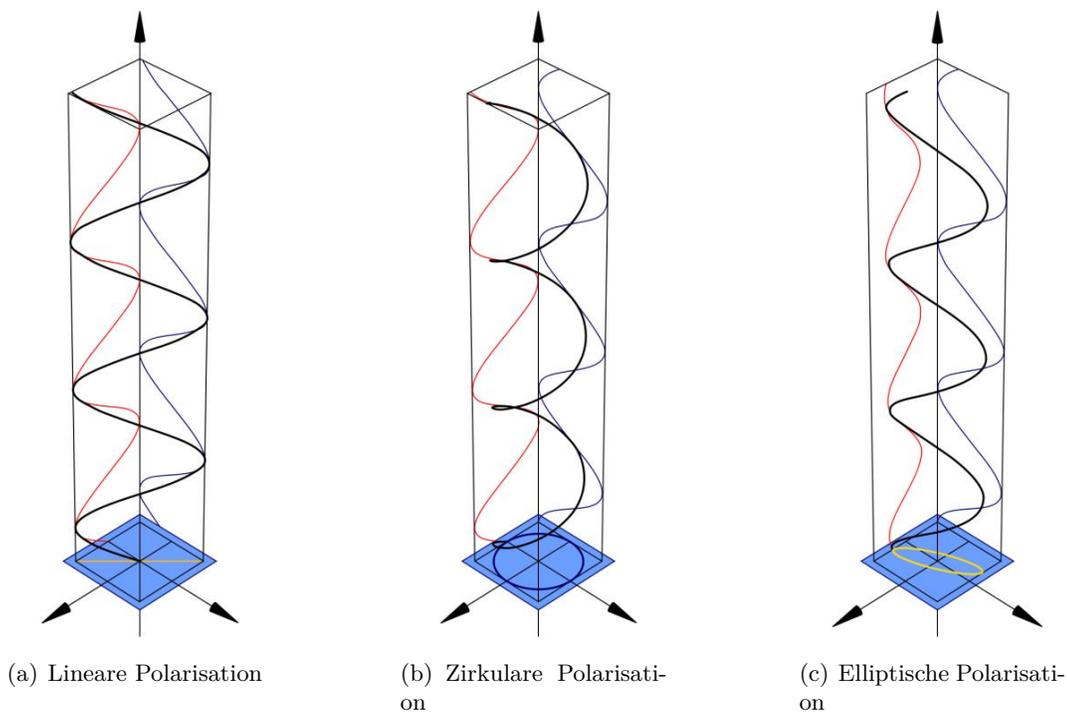
Unter linearer Polarisation versteht man die Schwingung in nur einer Polarisations Ebene. Sie lässt sich aus zwei anderen in Phase und senkrecht zueinander befindlichen Wellen zusammensetzen, wobei eine Änderung der Amplituden die Polarisationsrichtung ändert.

Mit Polarisatoren wandelt man nichtpolarisiertes in polarisiertes Licht um. Alle Polarisatoren in einem Strahlengang, die sich nach dem ersten befinden, werden Analysatoren genannt, da sich mit ihnen die Polarisation des Lichtes bestimmen lässt. Die Polarisationsfilter lassen Licht nur in einer linearen Polarisationsrichtung durch, alle anderen Richtungen werden geschluckt, man spricht daher von Polarisation durch Absorption. Werden zwei Polarisationsfilter im Winkel von  $90^\circ$  gekreuzt, wird das Licht somit ausgelöscht.

Daneben existieren auch noch weitere Möglichkeiten, Licht zu polarisieren. Reflektiertes Licht ist bei vielen Materialien teilweise linear polarisiert. Die Polarisation durch Reflexion ist dann vollständig, wenn der Einfallswinkel dem Brewster-Winkel entspricht. Gebrochener und reflektierter Strahl stehen dabei senkrecht zueinander. Das einfallende Licht regt im Glas Dipole zum Schwingen an, welche wie Hertz'sche Dipole (offener Schwingkreis) wirken. Die Schwingungsrichtung liegt in der Polarisations Ebene des einfallenden Lichtes und senkrecht zum gebrochenen Strahl.

Unter Polarisation durch Streuung versteht man die Absorption und Wiederabstrahlung von Licht, das auf ein streuendes Teilchen (z.B. einen Wassertropfen) fällt. Jedoch nur die Komponente, die senkrecht zur Streurichtung steht, kann eine Lichtwelle anregen.

Durchläuft ein Strahl einen doppelbrechenden Kristall entlang der optischen Achse, erfährt er neben der normalen Lichtbrechung zusätzlich noch senkrecht dazu eine Doppelbrechung. Er wird in zwei Strahlen aufgespalten, die beide eine um  $90^\circ$  gedrehte Polarisation aufweisen. Die Überlagerung der beiden Polarisationen ergibt zirkular polarisiertes Licht, das in einer Art Schraubenbewegung ständig die Polarisationsrichtung ändert.



Bei der zirkularen Polarisation beschreibt der Schwingungsvektor eine Kreisbahn, welche sich aus zwei linear polarisierten und zueinander senkrechten Wellen zusammensetzen lässt. Die Amplituden müs-

sen hierfür gleich groß sein und die Phasenverschiebung muss  $\frac{\pi}{2}$  betragen. Das Licht kann entweder rechtszirkular oder linkszirkular polarisiert sein.

Um linear polarisiertes Licht in zirkular polarisiertes Licht umzuwandeln, kann man bei richtiger Einstellung Verzögerungsplatten benutzen.  $\frac{\pi}{4}$ -Plättchen verzögern das Licht um eine viertel Wellenlänge gegenüber dazu senkrecht polarisiertem Licht.  $\frac{\pi}{2}$ -Plättchen verhalten sich wie zwei  $\frac{\pi}{4}$ -Plättchen hintereinander und verzögern das Licht entsprechend um eine halbe Wellenlänge. Die Plättchen sind aus einem doppelbrechenden Stoff (z.B. Quarz-Kristall) und ihre optische Achse liegt in der Plättchenebene. Sie sind jeweils nur für eine Wellenlänge geeignet und brechen senkrecht einfallendes Licht nicht. Trotzdem tritt ein Gangunterschied bei Licht unterschiedlicher Polarisationsrichtungen auf.

Die bisher angesprochenen Fälle der linearen und zirkularen Polarisation sind nur Sonderfälle, der eigentlich allgemeine Fall ist die elliptische Polarisation. Aus zwei elliptisch polarisierten Lichtwellen lässt sich eine linear polarisierte zusammensetzen.

Anwendung findet Polarisation in der Spannungsoptik, in Mikroskopen, in Polarimetern zur Messung optischer Aktivität organischer Stoffe, in der Fotografie zur Verstärkung von Farben und Kontrasten und Vermeidung von Spiegelungen, in Flüssigkristallbildschirme und in letzter Zeit auch bei 3D-Filmen im Kino.

### Quellen

- Staudt: „Experimentalphysik“, Verlag Carl Grossmann

## 5 Biologiekurs

### Neurobiologie

Die Neurobiologie ist eine der spannendsten Disziplinen innerhalb der Biowissenschaften, da sie noch einen recht jungen Forschungszweig darstellt. Erst in den letzten sechzig Jahren konnten grundlegende neurobiologische Fragestellungen beantwortet werden und boten damit die Möglichkeit, die Funktionsweise von Nervenzellen (Neuronen) und die Verarbeitung von Informationen in komplexen Nervensystemen zu untersuchen. Durch den Einsatz modernster Untersuchungstechniken können heutzutage zahlreiche neurophysische Zusammenhänge untersucht werden, so dass der Wissensstand rapide zunimmt.

Im Biologiekurs befassten wir uns anhand ausgewählter Themen mit verschiedensten Phänomenen aus der Neurobiologie und führten zusätzlich mit den Schülerinnen und Schülern eigene Experimente im Bereich der neurobiologischen Grundlagenforschung durch.

### Kursleitung

*Prof. Dr. Paul Dierkes*, Professor für die Didaktik der Biowissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/M.

*Dr. Guido Klees*, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Didaktik der Biowissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/M.

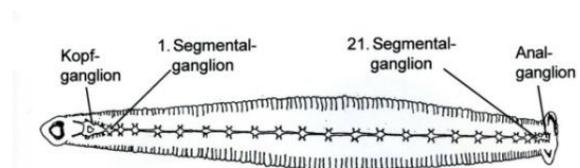
### 5.1 Neurobiologische Grundlagenforschung im Rahmen der Hessischen Schülerakademie

#### Einleitung

Der medizinische Blutegel „*Hirudo medicinalis*“ (Abb. 1) besitzt ein einfach strukturiertes Zentralnervensystem (ZNS, Abb. 2). Die Größe der Nervenzellen (Neuronen) und deren einfache Identifizierung machen das Blutegel-ZNS zu einem hervorragenden Modellsystem zur Untersuchung neurophysiologischer Prozesse. Volumenregulationsmechanismen von Neuronen spielen in der Pathophysiologie eine wichtige Rolle. Während eines Schlaganfalls können sich osmotische Verhältnisse im Gehirn grundlegend ändern. Unter diesen Bedingungen werden Volumenänderungen bei Neuronen hervorgerufen, die zur Schädigung der Zellen führen.



(a) Abb. 1: *Hirudo medicinalis*



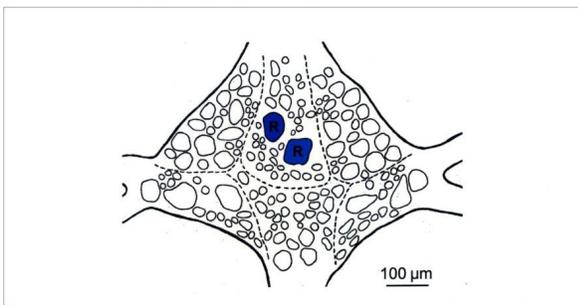
(b) Abb. 2: Lage des ZNS im Körper des Blutegels

Die mechanistische Beschreibung von Regulationsmechanismen des Zellvolumens ist ein erster Schritt, einer Schädigung entgegenzuwirken. Während des Fressvorgangs nimmt der medizinische Blutegel Nahrung auf, die zu einer starken Erhöhung der Osmolarität seiner Körperflüssigkeiten führt. Auch die Blutegel-Nervenzellen sind den veränderten osmotischen Bedingungen ausgesetzt. Es ist daher anzunehmen, dass die Neuronen des medizinischen Blutegels über Volumenregulationsmechanismen verfügen, um die Nervenzellfunktionen aufrechtzuerhalten.

### Durchführung

Als Forschungsfrage beschäftigten wir uns daher mit Volumenänderungen spezifischer Blutegelneuronen (Retzius-Neuronen), die durch Veränderung der extrazellulären osmotischen Verhältnisse hervorgerufen wurden. Ein Augenmerk wurde auf mögliche Anzeichen für Volumenregulationsmechanismen gelegt.

Als Versuchspräparat dienten isolierte Segmentalganglien aus dem Zentralnervensystem des Blutegels (Abb. 3 Die Retzius-Neuronen sind in blau dargestellt.). Die Ganglien wurden unter optischer Kontrolle (Binokular) entnommen und in einer Blutersatzlösung bis zum Versuch aufbewahrt. Die Identifizierung



(c) Abb. 3: Schema eines Segmentalganglions des medizinischen Blutegels



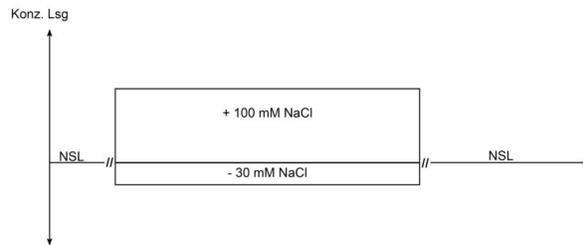
(d) Abb. 4: Neutralrot-Färbung der Retzius-Neuronen

der Retzius-Neuronen wurde mit dem Vitalfarbstoff „Neutralrot“ durchgeführt, der Retzius-Neuronen selektiv anfärbt (Abb. 4). Die Färbung beruht auf einer Wechselwirkung mit dem Neurotransmitter Serotonin, der in diesen Zellen in hohen Konzentrationen vorkommt. Die Inkubationszeit mit Neutralrot betrug 1 bis 3 Minuten. Mit Hilfe unterschiedlicher Analyseprogramme konnte der Durchmesser der Retzius-Neuronen anhand mikroskopischer Aufnahmen bestimmt und das Volumen berechnet werden (Abb. 5).

Volumenänderungen der Retzius-Neuronen wurde über die Gabe unterschiedlicher Badlösung induziert. Verwendet wurde eine hypertone Lösung, in der die NaCl-Konzentration gegenüber der Normalsalzlösung um +100 mM NaCl erhöht wurde. In der hypotonen Lösung wurde die NaCl-Konzentration um -30 mM reduziert. Zu Beginn der Messung wurden einzelne Präparate in einem speziellen Träger mit feinen Nadeln fixiert und mit Lösung überschichtet. Im Mikroskop wurden Aufnahmen bei einer 200-fachen Vergrößerung abgespeichert, die später zur Bestimmung des Ausgangsvolumens der Retzius-Neuronen (Kontrolle) dienten. Im zweiten Schritt wurde die NSL durch eine der anisotonischen Badlösung ersetzt. Mikroskopische Aufnahmen des Präparates wurden jede Minute angefertigt. Nach zehn Minuten wurde die anisotonische Badlösung erneut durch NSL ausgetauscht und für weitere fünf Minuten unter dem Mikroskop beobachtet (Abb. 6 Die Lsg-Wechsel sind durch „//“ gekennzeichnet.).



(e) Abb. 5: Messung des Durchmessers



(f) Abb. 6: Schema zur Versuchsdurchführung

## Ergebnisse

Die hypotone Lösung, in der NaCl um  $-30$  mM reduziert wurde, verursachte eine Zellschwellung um  $35\%$ . Die Retzius-Neuronen zeigten unter den hypotonischen Bedingungen keine Regulation des Zellvolumens. Um einer Zellschwellung entgegen wirken zu können, müssten die Neuronen in der Lage sein ihre intrazelluläre Osmolarität durch die Abgabe von Ionen zu senken. Dieses konnte jedoch nicht beobachtet werden.

Die hypertone Lösung, in der NaCl um  $+100$  mM erhöht wurde, verursachte eine Zellschrumpfung um  $20\%$ . Die Retzius-Neuronen zeigten schon unter den hypertonen Bedingungen nach ca.  $6$  min eine Regulation des Zellvolumens. Vermutlich steuern die Retzius-Neuronen der Zellschrumpfung durch die Aufnahme von  $\text{Na}^+$ - und  $\text{Cl}^-$ -Ionen entgegen, wodurch sie ihre intrazelluläre Osmolarität erhöhten und damit dem Außenmedium anpassten. Die Neuronen zeigten damit eine Anpassung an die Bedingungen, die auch bei der Nahrungsaufnahme des Egels auftreten. Im nächsten Schritt der Untersuchungen müssten nun weiteren Experimente angeschlossen werden, die die Ionentransportsysteme, die bei der Regulation beteiligt sind, identifizieren.

## Fluoreszenzversuch

Im zweiten Versuch beschäftigten wir uns mit der Fluoreszenzmikroskopie, als bildgebendes Verfahren zur Strukturerkennung biologischer Kompartimente und Zellorganellen. In diesem Versuch wurde ein Segmentalganglion mit dem Fluoreszenzfarbstoff Propidiumiodid (PI) behandelt. PI ist ein Fluoreszenzfarbstoff, der spezifisch DNA färbt und somit die Zellkerne der Neuronen hervorhebt. PI lagert sich dabei zwischen die gestapelten Basenpaare der DNA-Doppelhelix ein (interkaliert) und verändert dadurch seine Fluoreszenzeigenschaften. Durch die Auswahl des richtigen Fluoreszenzfiltersystems, das auf die Fluoreszenzeigenschaften von PI abgestimmt ist, sollte es daher möglich sein, die Zellkerne der Neuronen im Segmentalganglion zu lokalisieren.

Das verwendete Fluoreszenzmikroskop war mit drei unterschiedlichen optischen Filtersystemen ausgestattet, die für verschiedene Fluoreszenzfarbstoffe spezifisch sind. Nur ein Filtersystem war dabei auf PI abgestimmt. Durch den Wechsel der optischen Filter wurden Fluoreszenzaufnahmen des Segmentalganglions unter den unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt. Anhand der Aufnahmen konnte gezeigt werden, dass das Filtersystem, das auf den Fluoreszenzfarbstoff „Texas Red“ abgestimmt war, auch zu den Fluoreszenzeigenschaften von PI passte, da nur dort Zellkerne zu erkennen waren. Durch verschiedene Aufnahme in unterschiedlichen Fokusebenen konnten die Lage der zahlreich vorhandenen Zellkern der Neuronen im Ganglienverband dreidimensional kenntlich gemacht werden.

## 5.2 Mentale Fitness durch Lernen und Bewegung

Nadin Sarajlic

Betreuer: Mathias Wagenhoff

### - Neurobiologische Grundlagen von Neurogenese und Apoptose von Gehirnzellen -

#### Einleitung

Das Gehirn ist neben dem Rückenmark das zentrale Steuerzentrum unseres Körpers. Es ist in seiner Komplexität dafür verantwortlich, dass wir z.B. Emotionen empfinden können, dass Bilder oder Gerüche ganz bestimmten gespeicherten Objekten zugeordnet werden, dass sich unsere Muskulatur willkürlich beeinflussen lässt und dass wir überhaupt (über)leben können.

Das menschliche Gehirn besteht schätzungsweise aus etwa 100 Milliarden Nervenzellen (Neuronen), die über sogenannte Synapsen miteinander verbunden sind und somit untereinander Informationen austauschen können. Dieser Informationsaustausch geschieht entweder über elektrische Synapsen in Form von elektrischen Strömen oder über chemischen Synapsen mittels ganz bestimmter chemischer Botenstoffen (Neurotransmitter). Die Weiterleitung innerhalb eines Neurons erfolgt stets elektrisch durch Aktionspotentiale entlang der Nervenausläufer (Axon) über zum Teil weite Strecken.

Neben den Neuronen gibt es sogenannte Gliazellen, die etwa 40-50% des Gehirnvolumens stellen. Gliazellen haben die Aufgabe Neuronen zu stützen, sie gegenüber Nachbarzellen zu isolieren und sie helfen bei der Versorgung (Ernährung) der Neuronen.

#### Ontogenese des menschlichen Gehirns

Während der Ontogenese (Entstehung, Entwicklung) des menschlichen Gehirns entstehen aus dem ursprünglichen Neuralrohr so genannte primäre Hirnbläschen (3-Bläschen-Stadium). Man unterscheidet in diesem frühen Stadium bereits zwischen Vorderhirn (Prosencephalon), Mittelhirn (Mesencephalon) und Rautenhirn (Rhombencephalon). Ein weiterer Entwicklungsschritt lässt zwei neue Bläschen erscheinen (5-Bläschen-Stadium). Hierbei entsteht aus dem Vorderhirn das Endhirn (Telencephalon) und das Zwischenhirn (Diencephalon) und aus dem Rautenhirn das Hinterhirn (Metencephalon), welches sich wiederum in Kleinhirn (Cerebellum) und Brücke (Pons) aufgliedert und das Verlängerte Mark (Myelencephalon).

Den Großteil des Endhirns bildet die Großhirnrinde (Cortex), eine gefurchte und eingestülpte Struktur, welche das gesamte Großhirn umgibt. Regional wird sie unterteilt in Stirnlappen (Frontallappen), Schläfenlappen (Temporallappen), Scheitellappen (Parietallappen) und Hinterhauptslappen (Okzipitallappen). Die vier Lappen befinden sich sowohl auf der linken als auch auf der rechten Gehirnhälfte.

#### Struktur und Funktion des Hippocampus

Der Hippocampus liegt im Schläfenlappen beider Hemisphären (Gehirnhälften) und ist somit ein Teil des Endhirns. Er wird unterteilt in Gyrus Dentatus, Cornu ammonis (Ammonshorn) und Subiculum. Im Hippocampus werden Informationen aus dem Kurzzeitgedächtnis in das Langzeitgedächtnis übertragen, er ist für die Orientierung zuständig und speichert Ereignisse in einer zeitlichen Reihenfolge ab.

#### Neurogenese von Gehirnzellen

Im Gehirn gibt es einen hohen Anteil an Stammzellen, die entweder absterben oder sich zu Gliazellen oder Neuronen ausdifferenzieren. Zur Neubildung (Neurogenese) von Neuronen kommt es jedoch nur, wenn entsprechende Reize, z.B. durch die Umwelt oder durch gezieltes Training vorliegen. So kommt es durch Bewegung zu vermehrter Ausschüttung des Wachstumsfaktors VGF (Vascular Growth Factor), der dafür sorgt dass mehr Neuronen gebildet werden und erhalten bleiben. Ebenfalls unterstützen die Wachstumsfaktoren BDNF (Brain Derived Neurotrophic Factor) und IGF (Insulin-like Growth Factor)

die Neubildung und das Überleben der Nervenzellen.

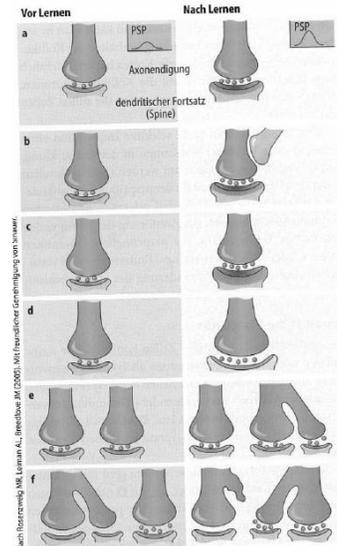
Werden Neuronen aktiv dazu „gezwungen“, Leistung zu erbringen (z.B. Lösen von Rätseln), verstärken sich u.a. auch die Verbindungen (Synapsen) zwischen den einzelnen Nervenzellen. Diesen Effekt bezeichnet man als (synaptische) Plastizität.

### Plastizität

Plastizität bezeichnet die Stärke der Übertragung von Signalen durch Synapsen und kann dabei von Bruchteilen von Sekunden bis hin zum ganzen Leben andauern. Dabei gibt es verschiedene Methoden wie man die Effizienz der Signalübertragung steigern kann.

Die Abbildung links zeigt diesen Vorgang:

- b) Ein Interneuron dockt dabei an ein Axon an
- c) Verdichtung des postsynaptischen Areals
- d) Oberflächenvergrößerung der Postsynapse
- e) Neubildung einer Synapse
- f) gezielte Rückbildung von nicht benötigten Synapsen (Pruning, Apoptose)



### Quellen

- Birbaumer, N.: Biologische Psychologie. Springer-Verlag, Heidelberg, 2002
- Purves, W.: Biologie. Spektrum Verlag, Heidelberg, 2006. Mental fit durch Bewegung
- Gehirn & Geist 5/09. Spektrum Verlag, Heidelberg, 2009
- [https://www.life-science-lab.org/cms/tl\\_files/arbeitsgemeinschaften/neuropsychologie/Handouts%20und%20Vortraege/Handout%20zu%20ZNS%2023.09.08-2.pdf](https://www.life-science-lab.org/cms/tl_files/arbeitsgemeinschaften/neuropsychologie/Handouts%20und%20Vortraege/Handout%20zu%20ZNS%2023.09.08-2.pdf)
- [http://www.br-online.de/wissen-bildung/telekolleg/faecher/biologie/biologie\\_03/teil\\_1.shtml](http://www.br-online.de/wissen-bildung/telekolleg/faecher/biologie/biologie_03/teil_1.shtml)
- [http://www.roland-pfister.net/downloads/studium/HS\\_Neuroanatomie.pdf](http://www.roland-pfister.net/downloads/studium/HS_Neuroanatomie.pdf)

## 5.3 Optische Täuschung - Eine Reise in die Welt der visuellen Wahrnehmung

Martin Roggenbuck

Betreuer: Mathias Wagenhoff

### Einleitung

Der menschliche Sehsinn ist ein hochkomplexes System und der Hauptsinn der menschlichen Wahrnehmung. Der Prozess des Sehens beginnt in der Netzhaut (Retina) des Auges und beansprucht im Gehirn große Areale, die aufgenommene Lichtreize verarbeiten und interpretieren. Optische Täuschungen werden speziell in diesem Zusammenhang studiert, um den im Gehirn stattfindenden Wahrnehmungsprozess nachvollziehen zu können.

### Visuelle Wahrnehmung

Das Bild der Außenwelt wird durch Hornhaut, Pupille, Linse, Augenkammern und den Glaskörper des Auges auf die Retina als ein seitenverkehrtes, auf dem kopfstehendes Bild projiziert. Photorezeptoren

absorbieren dort die Lichtreize, indem lichtempfindliche Moleküle chemisch umgewandelt werden. Dies löst innerhalb der Photorezeptoren eine Kaskade von Ereignissen aus, wodurch die Zellen ein elektrisches Signal abgeben.

Es gibt zwei Arten von Photorezeptoren, die Zapfen und die Stäbchen. Die Stäbchen sind äußerst lichtempfindliche (Hell-Dunkel-Rezeptoren) und vornehmlich für das Nachtsehen verantwortlich. Die Zapfen sind weniger lichtempfindlich und für das Farb- und Tagsehen verantwortlich. Sie besitzen im Vergleich zu den Stäbchen jedoch ein höheres räumliches und zeitliches Auflösungsvermögen.

Die beiden Arten der Photorezeptoren sind ungleichmäßig auf der Retina verteilt. Der Bereich der höchsten Sehschärfe (Fovea centralis oder gelber Fleck) liegt genau im Zentrum unseres Sichtfeldes und besitzt die größte Dichte an Zapfen, wobei Stäbchenrezeptoren völlig fehlen. Die Stäbchendichte nimmt ausgehend von der Fovea centralis zur Peripherie hin zu. An der Stelle an der der Sehnerv die Retina verlässt befinden sich überhaupt keine Photorezeptoren (blinder Fleck). Dadurch tritt an dieser Stelle eine „regionale Blindheit“ auf, die jedoch durch die Informationen um den Bereich herum und dem Sichtfeld des anderen Auges kompensiert wird.

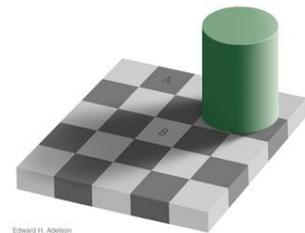
Die elektrischen Signale der Photorezeptoren werden zunächst über Interneuronen an Ganglienzellen weitergeleitet. Jede Ganglienzellen ist dabei über Interneuronen mit Photorezeptoren auf einem genau abgegrenzten Bereich der Retina verschaltet. Dieses wird als rezeptives Feld bezeichnet. Es ist kreisförmig angeordnet, zwischen 0,25 - 1,25mm groß und aufgeteilt in ein Zentrum und ein ringförmiges Umfeld. Die interneuronale Verschaltung bewirkt, dass Signale aus den Bereichen konträr zueinander verarbeitet werden. Bei On-Zentrum-Neuronen führen Signale aus dem Zentrum zu einer Erregung und Signale aus dem Umfeld zu einer Hemmung der Ganglienzelle. Bei den Off-Zentrum-Neuronen ist es genau umgekehrt.

Von den Ganglienzellen werden die Signale über den Sehnerv und den Thalamus in die Großhirnrinde weitergeleitet. Auf dem Weg dorthin kommt es zur Kreuzung der Sehnerven, wodurch die linke Gehirnhälfte für das rechte Sehfeld zuständig ist und umgekehrt. Die Signale gelangen zunächst in den primären visuellen Cortex im Hinterhauptslappen. Die Projektion des Netzhautbildes erfolgt in dieser Region retinotop; das heißt jede Ganglienzelle auf der Netzhaut wird von einem Neuron im visuellen Cortex positionsgenau nachgebildet. Die Größe der zentralen Projektion ist dabei proportional der retinalen Ganglienzelldichte wodurch die Fovea centralis überproportioniert abgebildet wird. Von dort aus gelangen die Bildinformationen in höhere Zentren des Gehirns, wo sie noch weiter verarbeitet werden.

## Optische Täuschung

Die Ganglienzellen kodieren die einkommenden Reize und leiten Signale über den Sehnerv an das Gehirn weiter. Durch die rezeptiven Felder und deren Zentrum-Umfeld-Eigenschaften reagieren sie vornehmlich auf Kontraste und nicht auf gleichmäßige Belichtungen. Das Auge ist daher nicht dafür ausgelegt, absolute Lichtwerte auszuwerten, sondern zur Erkennung von Kanten und Konturen. Solche Eigenschaften können durch Optische Täuschungen deutlich gemacht werden. Durch Kontraste werden dem Auge Farbverläufe suggeriert, obwohl die als andersfarbig „erkannten“ Objekte eigentlich gleichfarbig sind. Zu sehen ist dies in nebenstehender Abbildung:

Die Quadrate A und B erscheinen eindeutig als schwarz und weiß, dabei sind sie *exakt* gleichfarbig. Dem Effekt liegt zugrunde, dass das Auge keinen Helligkeits-Vergleich zwischen den beiden Quadraten vollziehen kann, sondern nur die Kontraste zwischen den umliegenden Quadraten und den Schattenverlauf. Hinzu kommt, dass das Gehirn das Schachbrettmuster erkennt und es versucht fortzuführen, sodass Quadrat B ein weißes sein muss und daher so wahrgenommen wird. Die Ganglienzellen sind



auch auf zeitliche Unterschiede spezialisiert, beispielsweise Bewegungen. Im Gegenzug werden gleichbleibende Lichtreize nur abgeschwächt wahrgenommen - die betroffenen Regionen schalten quasi ab. Diese Eigenschaft wird chromatische Adaption genannt und ist insbesondere wichtig, wenn das Auge mit verschiedenen Belichtungssituationen konfrontiert wird. Dominiert eine Belichtungsfarbe, so wird diese nach einer Gewöhnungsphase nicht mehr so stark wahrgenommen. So werden bei einer bläulichen Belichtung die Signale von Blaurezeptoren unterdrückt. Ziel für diese Einstellung des Auges ist die erleichterte Orientierung. Denn unabhängig von der Belichtung, die nach Tageszeit und eventuellen künstlichen Lichtquellen variiert, wird die Außenwelt immer gleich wahrgenommen, obwohl dies physikalisch nicht der Fall ist. Auch diese Eigenschaft ist für optische Täuschungen nutzbar, indem das Auge zunächst an eine Belichtung angepasst wird und dann eine perplexen Wahrnehmung von anders belichteten Objekten hat. So können beispielsweise schwarz-weiß-Bilder farbig erscheinen oder farbige Objekte schwarz-weiß.

### Quellen

- Birbaumer, N.: Biologische Psychologie. Springer-Verlag, Heidelberg, 2002
- Goldstein, B.: Wahrnehmungspsychologie. Spektrum Verlag, Heidelberg, 1997
- Kandel, E.: Neurowissenschaft. Spektrum Verlag, Heidelberg, 1995
- Purves, W.: Biologie. Spektrum Verlag, Heidelberg, 2006
- <http://www.kreativrauschen.de/blog/bilder/optische-taeschung-schachbrett-illusion.jpg>
- Die Welt im Kopf; Richtiges Sehen - eine optische Täuschung; Spektrum der Wissenschaft; Dossier 4/2005

## 5.4 Evolution und Diversität von Nervensystemen und Intelligenz

Franziska Schydlo  
Betreuer: Sascha Planz

Wieso wird eigentlich ein so großer Unterschied zwischen den Lebewesen gemacht? Was macht Experimente an Menschen schlimmer als Tierversuche? Verschafft uns unser menschliches Nervensystem und unsere Intelligenz wirklich eine solche Überlegenheit?

Der Intelligenzbegriff selbst ist nicht fest definiert und wird deshalb oft in unterschiedliche Bereiche aufgeteilt. Ein Beispiel ist die *praktische Intelligenz*: die Fähigkeit, komplexe alltägliche Probleme zu erkennen und zu lösen. Unter logischer Intelligenz versteht man das Erkennen bestimmter Gesetzmäßigkeiten. Wichtig vor allem für Menschen ist die *emotionale und soziale Intelligenz* - sie beschreibt die Fähigkeiten, eigene und Gefühlsregungen anderer zu erkennen und auf sie zu reagieren, sodass ein harmonisches Gruppenleben bestehen kann.

Grundlage dieser Intelligenzen ist ein ausgeprägtes Nervensystem. Es besteht aus unzähligen Neuronen, die aus Verknüpfungen und Verdichtungen ein komplexes System bilden, das durch Interaktion und Arbeitsteilung zu Höchstleistungen fähig ist.

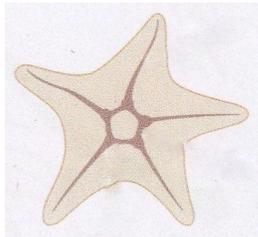
Die grundsätzliche Funktionsweise: Ein einlaufender Reiz (z.B. Kälte, Licht, Geruch...) trifft auf *sensorische Rezeptoren*, die ihn in Form eines Membranpotenzials über ein *afferentes Neuron* an ein Integrationszentrum weiterleitet. Diese Ansammlung von Interneuronen verarbeitet die Information und sendet über ein *efferentes Neuron* ein Signal an die Effektoren (Muskeln, Drüsen), die die Reaktion auf den vorangegangenen Reiz ausführen.

Aus dem beschriebenen Vorgang ergibt sich die Definition eines *Neurons* als spezialisierte Zelle, die sich durch Reizbarkeit und darauf folgende Abgabe von Aktionspotenzialen auszeichnet. Einen Hinweis auf seine Evolution liefern Zellen in Algen und grünen Pflanzen, die bereits die Fähigkeit besitzen, Aktionspotenziale zu generieren; allerdings besteht zu diesem Zweck kein spezialisiertes Gewebe. Auch Einzeller weisen oft spannungsgesteuerte Ionenkanäle auf, die ihnen die Reaktion auf Reize ermöglichen. Es besteht die Theorie, Neuronen vielzelliger Tiere hätten sich aufgrund deren häufigeren Ortswechsels herausgebildet. Die Anpassung an die immer wechselnde Umgebung macht eine schnelle reizabhängige Informationsverarbeitung nötig.

Einfachste Nervensysteme - *diffuse Nervennetze* - findet man bei *radiärsymmetrischen Tieren*, z.B. Quallen. Neurone sind im ganzen Körper verteilt; es wird dabei nicht immer zwischen sensorischen, motorischen und integrierenden Bereichen unterschieden. Zur verbesserten Steuerung eines Nervensystems führen Ganglien, Ansammlungen von Neuronenkernen, die an günstigen Stellen als Integrationszentren dienen. So verfügen Seesterne und andere Stachelhäuter über einen zentralen Nervenring, von dem radiäre Nervenstränge in die Arme ausgehen, wobei die Knotenpunkte Ganglien bilden.

Da *bilateralsymmetrische Tiere* eine Vorder- und Rück-, sowie eine rechte und linke Seite haben, sind ihre Nervensysteme zunehmend organisiert. Bei der Ausbildung von Ganglien kann die sog. Cephalisation beobachtet werden: Tendenziell werden Sinnesorgane ebenso wie Integrationszentren am Vorderende des Körpers konzentriert. Eine Ansammlung mehrerer Ganglien bildet dort ein *Gehirn*.

Bei wirbellosen Arten variiert das Ausmaß der Cephalisation. Plattwürmer verfügen über ein Gehirn und haben ein sog. Strickleiternnervensystem, welches aus quer- und längsverbundenen Ganglienpaaren besteht. Die meisten Weichtiere besitzen zwei Nervenstränge und einige große Ganglienpaare. Kopffüßer wie z.B. Kraken haben durch Vergrößerung der vorderen Ganglienpaare ein komplexes Gehirn ausgebildet.



Im Vergleich ist die Cephalisation bei Wirbeltieren stärker entwickelt. Ihr Nervensystem lässt sich unterteilen in das *Zentralnervensystem*, das sich aus Gehirn und Rückenmark zusammensetzt, und das *periphere Nervensystem*, das im ganzen Körper verteilt ist.

Das Gehirn stellt das zentrale Integrationszentrum eines Nervensystems dar. Aufgrund seiner Komplexität sind bestimmte Aufgabenbereiche entsprechenden Hirnregionen zugeordnet: Das *Stammhirn* erhält lebenswichtige Funktionen wie Herzschlag und Atmung. Das *Kleinhirn* integriert sensorische Reize und motorische Befehle und koordiniert auf diese Weise Bewegungen. Den größten Teil des *Vorderhirns* nimmt das *Großhirn* in Anspruch; ihm werden anspruchsvolle Aufgaben wie Planen, Bewerten von Informationen und Entscheiden zugeschrieben. Besonders sein äußerer Teil, die Großhirnrinde, wird oft als Sitz der Intelligenz angesehen.

Das relative Wachstum des Säugerhirns im Laufe der Evolution ist vor allem auf die Ausdehnung der Großhirnrinde zurückzuführen, deren Auffaltung eine immer größere Oberfläche ermöglicht. Aufgrund dieser Entwicklung entstanden immer leistungs- und lernfähigere Gehirne, die immer komplexere Fähigkeiten bieten.

Eine enorme Großhirnrinde ist jedoch nicht der einzige Weg zur Intelligenz; vielmehr begünstigen die verschiedensten Strukturen das Vorhandensein intellektueller Fähigkeiten, wie im Vergleich erkennbar ist. Das menschliche Nervensystem ist so gesehen anderen nicht überlegen.

Die Expansion des Hirns und damit verbundene neue Fähigkeiten haben sich in der Evolution oft als vorteilhaft für die Anpassung an die Umwelt erwiesen und sind dadurch erhalten geblieben. Da die Evolution jedoch nicht darauf abzielt, immer fähigere Lebewesen hervorzubringen, sondern darauf, den bestehenden durch Anpassung neue Möglichkeiten des Lebens zu eröffnen, erscheint es immer weniger gerechtfertigt, den Menschen als „Krone der Schöpfung“ zu sehen. Vielmehr besteht er als eins von diversen Lebewesen, eben auf eine ganz eigene Art und Weise.

### Quellen

- Neil A. Campbell, Jane B. Reece: Biologie (Pearson, 2009)
- GEOkompakt Nr.15 „Wie wir denken“, S. 26-34
- <http://aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/Neuronal.pdf>
- [http://devserv.hellilwood.de/sl\\_fullmobile\\_store/mobile\\_biologie/Nervensysteme\\_wirbelloser\\_Tiere.htm](http://devserv.hellilwood.de/sl_fullmobile_store/mobile_biologie/Nervensysteme_wirbelloser_Tiere.htm)

## 5.5 Aufmerksamkeit und Konzentration als neurobiologische Phänomene

Ann-Kathrin Brunner  
Betreuer: Sascha Planz

Aufmerksamkeit wird beschrieben als psychischer Zustand von Wachheit und Aufnahmebereitschaft, bei dem das Bewusstsein auf bestimmte Objekte, Vorgänge oder Gedanken ausgerichtet ist. Sie kann willkürlich z.B. durch Konzentration gelenkt oder unwillkürlich durch Reize erregt werden.

Aufmerksamkeit kann entstehen, wenn der Reiz alleine durch seine Merkmale „fesselt“. Dies geschieht, wenn dieser ausreichende Intensität besitzt oder sich von der Umgebung abhebt. Die Aufmerksamkeit entsteht folglich auf dem Weg von der Außenwelt (von „unten“) zu den Sinneszellen (nach „oben“) und wird daher „bottom-up“ (aufsteigend) genannt.

Die zweite Möglichkeit zur Entstehung von Aufmerksamkeit ist „top-down“ (absteigend). Hierbei werden Inhalte abhängig von gespeicherten Zusammenhängen verstärkt oder abgeschwächt.

Durch diese zwei verschiedenen Arten von Aufmerksamkeit kann es zu einer Selektion von Inhalten kommen.

Zur selektiven Aufmerksamkeit gibt es drei verschiedene „klassische“ Theorien.

Die vermutlich bekannteste Theorie, die den Ausgangspunkt für alle späteren Theorievorschläge bildet, ist die Filtertheorie von Broadbent (1958). Diese stützt sich auf Untersuchungen von Cherry (1953) und Welfords (1952).

Cherry untersuchte das so genannte Cocktailparty-Phänomen. Er untersuchte dichotisches hören (von zwei Seiten her). Diese Erkenntnisse integrierte Broadbent in seine Filtertheorie.

Die Theorie besagt, dass zwei gleichzeitig dargebotene Eingangsreize Zugang zu einem sensorischen Speicher erlangen. Jedoch kann nur einer dieser zwei Reize den selektiven Filter passieren. Diese Selektion geschieht auf Basis seiner physikalischen Merkmale (z.B.: Ohr).

Der andere Reiz wird von dem Filter abgeblockt, bleibt aber dennoch für einen späteren Zugriff vorhanden. Der Filter ist notwendig, um das kapazitätslimitierte Verarbeitungssystem hinter dem Filter vor Überlastung zu schützen. Dieses System verarbeitet die ankommende Information schematisch.

Hat die Information dieses System durchlaufen kann es Teil des Langzeitgedächtnisses werden. Die Grundannahmen dieser Theorie sind folglich, dass es eine sehr frühe Selektion gibt, welche nach dem „Alles-oder-Nichts“-Prinzip geschieht und es nur einen zentralen Prozessor gibt.

An dieser Annahme wurde jedoch bald Kritik geübt, da neuere Versuchsergebnisse mit diesem Befund unvereinbar waren. Es stellte sich die Frage, ob und wie viel Information von dem nicht beachteten Kanal verarbeitet wurde.

Beispielsweise erkennen ein Drittel der Versuchspersonen, wenn ihr Name im nicht beachteten Kanal genannt wird. Zusätzlich wurde gezeigt, dass die Informationen aus diesem Kanal die Interpretation der beachteten Information beeinflussen konnte. Darüber hinaus konnte mit etwas Übung mehr kritische Information aus dem nicht beachteten Kanal erkannt werden.

Daraus schloss man, dass alle ankommende Information relativ vollständig und unbewusst analysiert und beurteilt wurden.

Treisman entwickelte folglich die „Attenuations“-Theorie, die eine abgeschwächte Weiterleitung und Verarbeitung der nicht beachteten Information beinhaltet. Diese geschieht nach dem „Mehr-oder-Weniger“-Prinzip.

Die Selektion findet bei dieser Theorie ebenfalls sehr früh statt. Der Unterschied zur Filtertheorie besteht jedoch darin, dass die Analyse der Eingangsinformationen hierarchische Verarbeitungsstufen durchläuft. Je nach Auffälligkeit und Auftretenshäufigkeit wird die Eingangsinformation weiterverarbeitet.

Zu der Theorie der selektiven Aufmerksamkeit gibt es darüber hinaus noch einen dritten Ansatz, der von Deutsch und Deutsch 1963 hervorgebracht wurde. Es handelt sich um die Theorie der „späten“ Selektion, welche besagt, dass die Selektion der Informationen erst kurz vor Ausgabeende (Reaktion) geschieht. Deutsch und Deutsch gehen folglich davon aus, dass alle Eingangsreize gleichermaßen vollständig analysiert und verarbeitet werden. Eine Weiterverarbeitung geschieht nur für die Informationen, die für die Person gerade relevant sind.

Alle neuen Reize werden vor der Bewusstwerdung auf ihre Neuheit geprüft. Dazu werden die Inhalte mit denen aus dem Langzeitgedächtnis verglichen. Dies geschieht im Arbeitsgedächtnis, dem dorso-lateraler Präfrontalkortex, da hier der Reiz einige Zeit aktiv gehalten werden kann. Dieser Reiz wird mit einem emotionalen oder motivationalen Assoziationselement versehen welches die Wichtigkeit bestimmt. Passt der angekommene Reiz nicht in das vom Langzeitgedächtnis gespeicherte Modell, wird eine Orientierungsreaktion ausgelöst.

Zunächst wird der ankommende Reiz mit einem erwarteten Reiz verglichen. Je nach Ausmaß der Abweichung von der Erwartung wird eine Mobilisierung der Sinnessysteme in der Peripherie der zentralen Sinnessysteme, und der motorischen Systeme eingeleitet.

Um zum Beispiel einen ankommenden visuellen Reiz zu analysieren gibt es zwei Hirnregionen: das parietale und das temporale Assoziationsareal. Diese Regionen vergleichen das ankommende Erregungsmuster mit gespeicherten Mustern. Dabei wird auch die Bedeutung des Musters herausgearbeitet.

Im temporalen Assoziationsareal wird eher die Bedeutung analysiert, während die Parietalregion die räumliche Lokalisation analysiert.

Die inferiore (untere) parietale Region erhält die Information aus den wichtigsten Sinnessystemen (visuell, auditiv, somatisch). Nach deren Analyse werden diese Informationen an die frontale (vordere) temporale Region abgegeben.

Die Selektion der Informationen findet in einem anderen Bereich des Gehirnes statt. Hierzu ist der Nucleus reticularis thalami zuständig, der wie ein „Tor“ zum Kortex arbeitet. Dieser umgibt den Thalamus wie eine Muschel mit einer feinen Struktur, welche aus Zellen besteht, die auf ankommende Erregungsmuster hemmend wirken können. Folglich werden auch spezifische Kerne des Thalamus gehemmt. Jedoch wird die Aufmerksamkeit auch noch durch andere Systeme gelenkt. Es gibt eine Ent-

scheidungsinstanz, welche „entscheidet“, welche „Tore“ zum Thalamus geöffnet werden, um sie dort einer weiteren Analyse zu unterziehen. Diese Instanz bildet der mediale orbitale Präfrontalkortex und der Gyrus cinguli. Diese besitzen vor allem die Informationen und Resultate der Vergleichsprozesse aus dem inferior-parietalen Assoziationsareal. Zusätzlich kommen hier Informationen aus dem limbischen System an, die über die motivative Bedeutung („wichtig oder unwichtig“) für den Organismus Bescheid wissen.

## Quellen

- Hans-Otto Karnath, Peter Thier: Neuropsychologie (Springer Lehrbuch, 2. Auflage 2006)
- M. F. Bear, B. W. Connors, M. A. Paradiso: Neurowissenschaften (Spektrum, 3. Auflage 2009)

## 5.6 Motivation manipulieren

Christoph Kreiss  
Betreuerin: Marie Reuther

Jeder Mensch besitzt zwei Wahrnehmungsstufen, eine bewusste und eine unbewusste. Die Übergänge sind fließend und von Person zu Person verschieden. Ein Beispiel für Manipulation ist die subliminale Konditionierung - ohne, dass es einem bewusst ist, bekommt man etwas beigebracht. Man unterscheidet die *Pawlow'sche Klassische Konditionierung* und die *Operante-Instrumentelle Konditionierung*. Entscheidend für den Lernerfolg ist der Überraschungseffekt. Durch eine unerwartet hohe Belohnung wird die Assoziation hier verstärkt, durch eine niedrigere Belohnung als erwartet geschwächt. Bei der Pawlow'schen-Klassischen Konditionierung ist es schwieriger, jemanden zusätzlich auf einen anderen Reiz zu konditionieren, da der alte Reiz den neuen blockiert.

Die Psychologen Robert Rescorla und Allan Wagner versuchten, diesen Zusammenhang mathematisch darzustellen, dabei entstand die folgende Formel:

$$\Delta V_{A(n)} = \alpha_a \cdot \beta_{US(n)} \cdot (\lambda_{US(n)} - V_{all(n)})$$

Diese lässt sich zu  $\Delta V = k \cdot (\lambda + V)$  vereinfachen.

**V** steht für die Assoziationsstärke des Reizes.

$\Delta$  gibt an, dass zwischen zwei Konditionierungen verglichen wird; eine mit z.B. dem Wert 0 und maximal dem Wert 1. Es können aber auch beliebig viele verglichen werden.

**A** steht für den Reiz, den man impliziert bekommt.

**n** beschreibt die Anzahl der Konditionierungsdurchgänge.

$\alpha$  steht für die Lernrate mit Konditionierung und...

$\beta$  für die Lernrate ohne Konditionierung.

$\lambda$  steht für die absolute Assoziationsstärke.

**k** ist der Überraschungseffekt, der sich aus Alpha und Beta zusammensetzt.

$\beta_{US(n)}$  beschreibt die konstante Lernrate für den unkonditionierten Reiz (Stimulus).

$\lambda_{US(n)}$  beschreibt die maximal mögliche Assoziationsstärke des unkonditionierten Stimulus.

Zusammengefasst bedeutet das, dass der Lernerfolg am Anfang schneller erzielt wird als nach der 1000. Übung, da man dort bereits die absolute Assoziation erreicht hat. Ein positiver Überraschungseffekt verstärkt den Lernerfolg.

### Experimentelle Möglichkeiten, Motivation zu manipulieren

Forscher, die Versuche planen um ihre Probanden zu manipulieren, bedienen sich der Konditionierung. Die Probanden sollen also aus Erfahrungen lernen, ohne dass sie die Erfahrungen bewusst wahrnehmen. Heutzutage wird 30 Millisekunden lang ein Bild eingeblendet. Damit kein Abdruck auf der Netzhaut zurückbleibt, wird eine sogenannte Maske eingesetzt. Eine Maske ist ein sinnloses Bild aus bunten Punkten, welches vor und nach jedem Reiz eingeblendet wird.

Die Versuchspersonen können Geld in Höhe von einem Euro und minimal von einem Cent gewinnen. Dazu sollen sie eine Klemme drücken. Je fester zugeedrückt wird, desto mehr Geld kann gewonnen werden. Vor dem Drückmoment wird minimal kurz ein Cent- oder Eurostück eingeblendet. Es zeigt sich, obwohl die Münze nicht erkannt werden konnte, dass sich die Personen, die einen Euro sahen, mehr anstregten. Bei den durchgespielten Versuchen wurde gezeigt, dass subliminale Manipulation möglich ist, aber offene Reize viel stärker wahrgenommen werden als unterbewusste Reize.

Eines der dabei angeregten Gehirnareale ist z.B. das limbische System. Dieses ist für Emotionen zuständig, dort werden u.a. Überraschungseffekte erkannt, eine besonders gute oder schlechte Erinnerung an das Ereignis wird gespeichert. Besonders aktiv während eben beschriebenen Versuchs waren jedoch lediglich die Bereiche der Basalganglien. Diese sind tief sitzende Kerne des Kern- und Zwischenhirns. Sie erkennen auch unbewusst den Wert einer Belohnung und geben ihre Reize direkt an die Hirnrinde ab, die für Muskelkontraktionen zuständig ist. Auch werden Gewinnsteigerungen erkannt, somit ist der Lernerfolg größer, auch unbewusst. Vergleichstests zeigten allerdings, dass bei einer „offenen“ Konditionierung - also einer, in der die Probanden die Höhe des Gewinns bewusst wahrnahmen - die selben Gehirnareale aktiviert wurden, aber stärker.

### Quellen

- Pessiglione, Mathias: Motivieren - aber heimlich. In: Spektrum der Wissenschaft, September 2010, S. 50-57
- <http://www.spektrum.de/artikel/1042133> am 02.07.11 um 19:03
- [http://www.visionen.com/Rubriken/News\\_Trends/NEUROBIOLOGIE\\_Unbewusste\\_Entscheidungen\\_im\\_Gehirn](http://www.visionen.com/Rubriken/News_Trends/NEUROBIOLOGIE_Unbewusste_Entscheidungen_im_Gehirn) am 07.06.11 um 22:32
- <http://peter.dergrossebruder.org/psy/lernen/02%20-%20Klassisches%20Konditionieren.pdf> am 21.06.10 um 21:57
- [http://www.ewi-psy.fu-berlin.de/einrichtungen/arbeitsbereiche/allgpsy/media/media\\_lehre/Lernen\\_und\\_Ged\\_\\_chn\\_\\_s/lernen\\_4.pdf?1286345259](http://www.ewi-psy.fu-berlin.de/einrichtungen/arbeitsbereiche/allgpsy/media/media_lehre/Lernen_und_Ged__chn__s/lernen_4.pdf?1286345259) am 21.06.10 um 20:08

## 5.7 Das süchtige Gehirn - Drogen und ihre Auswirkungen auf das Gehirn

Katharina Löw  
Betreuerin: Saskia Wiesner

Neueste Forschungsstudien zeigen, dass verschiedenste Drogen alle im gleichen Bereich des Gehirns wirken und dort Veränderungen hervorrufen. Dieser Bereich wird als *mesolimbisches System* oder Belohnungssystem bezeichnet. Das Belohnungssystem setzt sich aus der *Area tegmentalis ventralis*, dem *Nucleus accumbens*, der *Amygdala* und dem *Hippocampus* zusammen. Es ist normalerweise dafür zuständig, Dopamin in geregelten Dosen freizusetzen, welches für das Wohlbefinden und die Glücksgefühle verantwortlich ist, und trägt zur Gedächtniskonsolidierung bei. Bei Drogenkonsum übernimmt die Droge die Funktion der Dopaminausschüttung. Die entscheidende Dopaminbahn für Suchtverhalten

läuft von der Area tegmentalis ventralis (ATV) zum Nucleus accumbens. Die Verbindung des Nucleus accumbens und der ATV zu anderen Gehirnregionen verstärkt bestimmtes Verhalten oder Erlebnisse (positive Verstärkung), die angenehme Gefühle erzeugen. Im Bereich der Amygdala findet eine Beurteilung statt, die darüber urteilt, ob ein Verhalten wiederholt werden soll oder nicht. Der Hippocampus wiederum speichert diese bewerteten Erlebnisse im Kontext ab.

Auf der Suche nach den genauen neuronalen Vorgängen im Gehirn, die bei Drogenkonsum stattfinden, ist man auf zwei entscheidende Proteine gestoßen: *CREB* und *deltaFosB*. *CREB* ist verantwortlich für das Suchtverhalten während des akuten Konsums. Gebildet wird dieses Protein von kleinen Signalmolekülen in den Zellen des Nucleus accumbens bei erhöhtem Dopaminsignal (durch Drogenkonsum). *CREB* fördert jetzt selbst die Synthese von Proteinen, zum Beispiel Dynorphin, die das Belohnungssystem drosseln. Dynorphin bewirkt über eine neuronale Rückkopplungsschleife, dass weniger Dopamin ausgeschüttet wird und wirkt daher der Droge entgegen. Der Mangel an Dopamin führt dazu, dass weniger Glücksgefühle erzeugt werden und man nach der Droge verlangt. Dieses Phänomen bezeichnet man als Toleranz. *CREB* bleibt allerdings nur wenige Tage im Gehirn und wird danach wieder abgebaut, es kann also nicht für Rückfälle nach jahrelanger Abstinenz verantwortlich sein. Man nimmt an, dass das Protein *deltaFosB* hierfür verantwortlich ist. Es bildet sich nur bei chronischen erhöhten Dopaminsignalen und reichert sich im Nucleus accumbens an. Durch die erhöhte Konzentration verhindert *deltaFosB* die Synthese von Dynorphin. Es aktiviert Gene (z.B. *CDK5*), die wahrscheinlich Strukturveränderungen hervorrufen, indem sie an den Dendriten des Nucleus accumbens stoffsensible Dornen (mit neuen Synapsen) bilden. Das heißt, die Dendriten haben jetzt sogenannte „Stoffantennen“, die schon bei kleinsten Reizen durch die Droge (Bild der Droge, Konsummittel etc.) reagieren. Dieses Phänomen bezeichnet man als *Sensitisierung*.

Drogen wirken zwar alle auf das Belohnungssystem ein, allerdings setzen sie an unterschiedlichen Punkten an. Kokain zum Beispiel blockiert die Wiederaufnahme von Dopamin und erhöht dessen Freisetzung. Alkohol und Opiate hemmen Nervenzellen, die normalerweise die Dopaminausschüttung kontrollieren. Nikotin wirkt auf das ventrale tegmentale areal, das über Ausläufer zum Nucleus accumbens eine Dopaminfreisetzung anregt.

## **Marihuana**

Man gewinnt Marihuana aus den getrockneten Blättern der *Cannabis sativa* (gemeine Hanfpflanze). Der psychoaktive Wirkstoff in Cannabis ist eine ölig-chemische Verbindung namens Delta-9 Tetrahydrocannabinol (THC). Cannabis verstärkt bei geringer Dosierung den Gemütszustand des Konsumenten, die Physiomotorik und das Kurzzeitgedächtnis lassen nach. Bei hoher Dosierung, beziehungsweise bei chronischem Konsum, kann es zu Halluzinationen und grundlegenden Persönlichkeitsveränderungen kommen. Tierversuchen zufolge wirkt Cannabis nicht im tegmentalen ventralen areal, sondern direkt im Nucleus accumbens auf dopaminerge Endknöpfe. Cannabis wirkt außerdem auf spezifische CB-1 Rezeptoren im Hippocampus, die normalerweise durch ihren natürlichen Liganden Anandamid in den Pyramidenzellen GABAerge Neurone hemmen. Das heißt, endogene Cannabinoide erhöhen die Aktivität der Pyramidenzellen. THC wirkt bei Konsum direkt auf diese CB-1 Rezeptoren und verhindert somit, dass eintreffende Signale anderer Neurone gehemmt werden können. Das führt zu einer Langzeitpotenzierung der Pyramidenzellen im Hippocampus. Allerdings hat das nicht wie erwartet eine erhöhte Gedächtnisleistung zur Folge, weil Cannabis aus bisher unerforschten Gründen genau die gleichen Auswirkungen auf das Gedächtnis hat, die auch aufgrund verschiedener Läsionen des Hippocampus hervorgerufen werden. Man geht also davon aus, dass exzessiver Cannabiskonsum zu einer Störung der normalen Vorgänge im Hippocampus führt.

## Quellen

- Nestler, Eric J. und Malenka, Robert C: Die alltägliche Sucht. In: Spektrum der Wissenschaft [Ausgabe1] (2008), S. 30- 37
- H.-O. Karnath, P. Thier: Neuropsychologie (Springer-Verlag, 2. Auflage, 2005)
- Mark F. Bear, Barry W. Connors, Michael A. Paradiso: Neurowissenschaften

## 5.8 Das emotionale Gehirn - Spiegelneuronen und Autismus

Rebecca Veit

Betreuerin: Anna Lisa Eckes

Wenn ein Freund von uns nach einer Blume greift und uns dabei zulächelt, wissen wir sofort, dass er die Blume pflücken und uns schenken möchte. Noch bevor er die Handlung ausgeführt hat, haben wir das Handlungsziel erkannt.

Verantwortlich für das schnelle Verstehen von menschlichem Verhalten sind die sogenannten *Spiegelneuronen*, die sich in der Hirnrinde (Cortex) befinden. Wissenschaftler haben herausgefunden, dass die Spiegelneuronen sowohl dann Signale aussenden, wenn wir selbst eine Handlung ausführen, als auch dann, wenn wir diese Handlung bei einer anderen Person beobachten. Ihr Verhalten wird somit in unserem eigenem motorischem System widergespiegelt. Also ist auch die Aussage „Ich fühle mit dir“ wörtlicher zu nehmen. Die Spiegelneuronen spielen deshalb eine große Rolle für die Empathie und unser Sozialverhalten. Auch bei Lernprozessen und der Nachahmung sind diese Neuronen beteiligt.

Autisten sind bekannt dafür, dass sie sich sehr zurückziehen, wenig Einfühlungsvermögen zeigen, Schwierigkeiten beim Imitieren haben und Metaphern nicht verstehen. Desweiteren vermeiden sie oft Blickkontakt, haben Angst vor bestimmten Geräuschen und zeigen ein größeres Interesse an Dingen, die für uns eher unwichtig erscheinen. Bei der Betrachtung der Symptome fällt auf, dass besonders solche Funktionen gestört sind, an denen Spiegelneuronen beteiligt sind. Tatsächlich wurden bei Autisten Defekte im Spiegelneuronensystem nachgewiesen. Auch wenn das motorische Befehlssystem intakt ist und Autisten somit die jeweilige Handlung normal ausführen können, reagieren ihre Spiegelneuronen nicht, wenn sie diese Handlung bei einer anderen Person beobachten. Sie können also das Ziel der Handlung oder die Gefühle ihrer Mitmenschen nicht begreifen.

Um Metaphern verstehen zu können, verbinden wir bestimmte Eigenschaften von Formen und Klängen. Diese werden zwischen unterschiedlichen Sinnesbereichen abgebildet. Man würde beispielsweise den Namen „Buba“ einer runden, den Namen „Kiki“ einer spitzen Figur zuordnen. Auch hierfür sind Spiegelneuronen verantwortlich, die sich an der Kreuzung von Seh-, Hör- und Tastzentrum, dem *Gyrus angularis*, befinden. Da bei autistischen Personen diese Spiegelneuronen nicht reagieren, nehmen sie Metaphern oft wörtlich.

Die *Salience-Landscape-Theorie* erklärt, warum bei Autisten die Wahrnehmung des emotionalen Stellenwerts gestört zu sein scheint und sie sich lieber mit Fahrplänen und Telefonbüchern als mit ihren Mitmenschen auseinandersetzen. Gestörte Verbindungen zwischen dem Mandelkern (dem Zugang zum limbischen System) und der Hirnrinde führen dazu, dass Autisten bestimmten Handlungen oder Gegenständen eine andere emotionale Bedeutung zuordnen. Die Begegnung mit einer anderen Person wird meist als Bedrohung wahrgenommen und erzeugt inneren Aufruhr. Um diesen zu vermeiden, verweigern sie den Blickkontakt. Die gestörten Verbindungen zum Mandelkern, die durch eine Schläfenlappenepilepsie verursacht werden können, schließen die Theorie der Spiegelneuronendefekte als Krankheitsursache keineswegs aus. Es gibt wahrscheinlich einen Zusammenhang zwischen den beiden Möglichkeiten, wobei noch nicht geklärt ist, ob beide durch die Schläfenlappenepilepsie oder durch die

abnormen Gene, die für die Spiegelneuronendefekte verantwortlich sind, ausgelöst werden. Die häufigste Behandlungsmethode für Autismus ist eine möglichst frühe Verhaltenstherapie. Die Entdeckung der Spiegelneuronen bietet diesbezüglich neue Behandlungsmöglichkeiten. Angedacht ist beispielsweise die Verabreichung von Substanzen, welche die Ausschüttung von Neuromodulatoren, die die Aktivität der Spiegelneuronen verstärken, stimulieren oder eine ähnliche Wirkung haben.

### Quellen

- Spektrum der Wissenschaft, Spiegel im Gehirn, 03/2007, S.49-55
- Spektrum der Wissenschaft, Der blinde Spiegel Autismus, 04/2007, S.43-49
- E. Bruce Goldstein: Wahrnehmungsphysiologie (Der Grundkurs), S.251-254

## 5.9 Löcher in der Membran: Molekülsonden zur Erforschung von Ionenkanälen

Johanna Bube

Betreuerin: Katharina Weislogel

Ionenkanäle sind winzige Nanoporen im Membransystemen des Körpers (Zellmembran, Mitochondrien, Endoplasmatisches Reticulum), die für bioelektrische Vorgänge im Körper verantwortlich sind. Außerdem regeln sie den Wasser- und Salzhaushalt und das Zellvolumen. Durch Ionenkanäle werden Membranen für Ionen durchgängig. Im offenen Zustand können Ionen entlang ihres elektrochemischen Gradienten durch die Kanäle diffundieren.

Ionenkanäle lassen meistens nur eine Ionensorte passieren, sie sind demnach hochselektiv für dieses Ion. Die Selektivität beruht vor allem auf dem Kanaldurchmesser und den Ladungsverhältnissen innerhalb des Kanals. Oszillierende, geladene Engstellen „reichen“ das Ion durch den Kanal. Je nach Größe der Hydrathülle des jeweiligen Ions und seiner entsprechenden Bindungsenergie ist der Ionenkanal für das Ion passierbar.

Eine der Wichtigsten Aufgaben von Ionenkanälen ist die Signalweiterleitung durch die Auslösung von sogenannten Aktionspotentialen, der elektrischen Signalform von erregbaren Zellen (vor allem Nerven-, Sinnes- und Muskelzellen). Aktionspotentialen werden dabei an den Axonen von Nervenzellen generiert, und leiten somit Signale über länger Strecken fort. Der Vorgang läuft wie folgt ab: Normalerweise beträgt das Membranruhepotential einer Nervenzelle ca. -70 mV. Das Öffnen von einigen spannungsabhängigen Natrium- und Calciumkanälen führt zur Depolarisation. Wird ein bestimmter Schwellenwert überschritten führt dies zur raschen Öffnung von weiteren Natrium- und Calciumkanälen, wodurch die Depolarisation schlagartig erhöht wird. Dabei kann das Membranpotential sogar positive Werte annehmen. Die Kanäle sind jeweils nur für 1 oder 2 ms lang geöffnet. Daraufhin öffnen sich spannungsabhängige Kaliumkanäle. Der Kaliumionen fließen vom Zellinneren nach außen und repolarisiert die Zelle bis zum Erreichen seiner ursprünglichen negativen Spannung. Dabei kann es auch sein, dass das Membranpotential kurzfristig sogar negativer wird als das Membranruhepotential. Diesen Zustand bezeichnet man als Hyperrepolarisation. Kaliumkanäle sind an der Regulation des Abstandes zwischen zwei Aktionspotentialen beteiligt. Stresshormone (z.B. Adrenalin, Noradrenalin) reduzieren die Aktivität dieser Kanäle. Eine Nervenzelle kann sehr schnell Signale generieren. Nach ein bis zwei Millisekunden ist sie wieder erregbar.

Verschiedene Wirkstoffe können die Aktivität von Ionenkanälen herabsetzen oder komplett blockieren. Ein Stoffbeispiel sind die natürlich vorkommenden Polyamine (einfach, linear gebaute Kohlenwasserstoffmoleküle mit zwei bis vier Aminogruppen), die physiologisch die Aktivität von Ionenkanälen re-

gulieren. In der Forschung benutzt man diese und ihre chemischen Analoga, die Diamine, als „Sonden“ zur Erforschung der Struktur von Ionenkanälen.

1991 erhielten die beiden deutschen Wissenschaftler Erwin Neher und Bert Sakmann den Nobelpreis für Medizin für die Entwicklung der Patch-Clamp-Technik, mit der man die elektrische Aktivität einzelner Ionenkanäle messen kann. Die Spitze einer Glasmikroelektrode (Spitzendurchmesser ca. ein Mikrometer) wird auf die Zellmembran aufgesetzt und durch einen leichten Unterdruck wird ein kleiner Teil der Zellmembran in die Öffnung der Elektrode gezogen. Der Abdichtwiderstand zwischen der Membran und der Glaswand ist sehr hoch, sodass der Stromfluss durch einzelne Ionenkanäle in diesem kleinen Stück der Membran gemessen werden können. Das Ziel ist es, genau einen Ionenkanal zu isolieren und somit dessen elektrophysiologischen Eigenschaften untersuchen zu können. Häufig sind dafür jedoch mehrere Versuchsansätze nötig, da es häufig vorkommt, dass sich keiner bzw. mehrere Ionenkanäle in der gepatchten Zellmembran befinden. Der Strom, der durch einen einzelnen Ionenkanal fließt liegt im Pico-Amperebereich und ist daher sehr klein. Dennoch sind für diesen Strom bis zu 100 Millionen Ionen nötig, die pro Sekunde durch einen Kanal fließen müssen.

Kaliumkanäle stellen eine sehr große Familie in der Gruppe der Ionenkanäle dar und sind für Kaliumionen hochselektiv. Im Folgenden werden drei Arten aus der Familie der Kaliumkanäle genauer vorgestellt:

- Einfach gebaute, spannungsunabhängige *Kir-Kanäle* (Kir = Kalium inward rectifier). Sie lassen die Kaliumionen nur in eine Richtung und zwar ins Zellinnere fließen. Das Membranruhepotential (Spannungsdifferenz zwischen dem Inneren und Äußeren der Zelle) wird weitgehend über diese Kir-Kanäle eingestellt.
- Außerdem gibt es aufwändiger strukturierte, spannungsabhängige *Kv-Kanäle* (K = Kalium, v = Spannung), die beim Aktionspotential eine wesentliche Rolle spielen. Diese spannungsabhängigen Kanäle werden durch die Depolarisation geöffnet und bewirken die Repolarisation der Nervenzellen, also die Rückkehr zum Ruhepotential.
- Einen weiteren Typ von spannungsabhängigen Kaliumkanälen stellen die *calcium-aktivierten Kaliumkanäle* dar, die in der späten Phase bei manchen Aktionspotentials eine Rolle spielen. Diese Kanäle benötigen zur Öffnung zusätzlich eine Erhöhung der intrazellulären Calciumionenkonzentration und sorgen dafür, dass es nicht sofort wieder zu einer erneuten Auslösung eines Aktionspotentials kommen kann.

Kaliumkanäle kontrollieren aber auch noch viele weitere physiologische Prozesse. Sie spielen unter anderem eine entscheidende Rolle bei der Zellteilung. Werden sie blockiert, können sich die Zellen nicht mehr teilen und es kommt zum Wachstumstopp. Es gibt eine Reihe von Stoffen, die sich wie Pfropfen in die Kanäle setzen oder den Öffnungs- oder Schließmechanismus des Kanals beeinflussen. Der Ionenfluss wird dadurch eingeschränkt oder ganz verhindert. Durch die Untersuchung der Wirkmechanismen von Ionenkanalblocker besteht die Möglichkeit auf den Aufbau der Ionenkanäle schließen zu können. Die Ionenkanalblocker fungieren dabei als „Sonden“ zur Erforschung der Ionenkanäle. Das Verständnis über den Aufbau der Kanäle kann dabei helfen neue Medikamente und Therapien zu entwickeln. Besonders hilfreich ist dabei das Studium der Wirkmechanismen von Polyaminen und ihren künstlichen Strukturanaloga, den Diaminen. Polyamine können vom Körper selbst synthetisiert, werden oder mit der Nahrung aufgenommen werden.

Polyamine setzen die Aktivität der calciumaktivierten Kaliumkanälen herab, indem sie die Kanalpore blockieren. Am effektivsten hat sich das Polyamin Spermin erwiesen. Patch-clamp-Versuche haben ergeben, dass Spermin nur von der Zellinnenseite wirksam ist. Das einzige Diamin, das von beiden Zellmembranseiten Wirkung auf die Kanäle zeigte, ist das 1,12-Diaminododecan, ein Strukturanaloga von Spermin. Es hat die gleiche Kettenlänge wie Spermin, besitzt aber nur am ersten und letzten

Kohlenstoffatom eine  $\text{NH}_2$ -Gruppe. 1,12-Diaminododecan tritt in den Kaliumkanal ein und kann ihn effektiv blockieren.

Da sowohl eine dauerhafte Schließung als auch die dauerhafte Öffnung der Kanäle zu einem Zellwachstumsstopp führen kann, spielen diese Untersuchungen eine wichtige Rolle bei der Tumorbekämpfung:

- Eine hochspezifische Blockierung der Kaliumkanäle von Tumorzellen durch Kaliumkanalblocker oder Polyaminanaloga wär demnach denkbar.
- Entdeckung eines Stoffs, der die Synthese von Polyaminen stoppt.

### Quellen

- Der Weg von Ionen durch die Zellmembran: Molekülsonden zur Erforschung von Ionenkanälen; Thomas M. Weiger, Thierry Langer, Anton Herrmann; Biologie in unserer Zeit; 32. Jahrgang 2002, Nr. 2
- Gesamtband Linder Biologie; Schroedel Verlag; 22. neubearbeitete Auflage, 2005

## 5.10 Vom Tiergift zur neuen Schmerztherapie - Synapsen und Neurotransmitter

Julia Zaenker  
Betreuerin: Katharina Weislogel

### Einleitung

Thema des Vortrags war die Wirkungsweise und Beschaffenheit verschiedener Tiergifte und ihr Einsatz in der Forschung und der Schmerztherapie.

In allen Biotopen findet ein ständiger Konkurrenzkampf um Nahrung, Lebensraum und Sexualpartner statt. Unter diesem Selektionsdruck müssen sich Lebewesen geschickt anpassen, um zu überleben. Gifte haben sich deshalb zu sehr spezifisch wirksamen „chemischen Waffen“ entwickelt. Parallel dazu haben andere Tiere wiederum Schutzmechanismen gegen diese Gifte hervorgebracht.

### Tiere und ihre Gifte

Zu den Nesseltieren zählen Quallen, Korallen und Seeanemonen. Berührt das Opfer sie, entladen sich Widerhaken aus dem Giftapparat. Seeanemonen benutzen ihre Nesselorgane, um Plankton und Fische zu fangen. Ein interessantes Beispiel für Koevolution ist dabei die Symbiose der Seeanemonen mit den Anemonenfischen. Der Schleim auf der Haut der kleinen Fische verhindert das Entladen der Nesselzellen, Der Anemonenfisch wird so nicht vergiftet und kann in den Tentakeln der Anemonen Schutz vor Feinden suchen. Die in Nord- und Ostsee vorkommenden Arten sind ungefährlich, ihr Gift verursacht höchstens lokale Hautreizungen. Die Würfelqualle hingegen ist das giftigste Tier der Welt. Ihr Gift verursacht innerhalb von Minuten und Sekunden Bewusstlosigkeit.

Der vor allem im Pazifik vorkommende Kugelfisch (Fugu) zählt zu den passiv giftigen Tieren, denn er benutzt sein Gift nicht zum Beutefang, sondern nur zum Schutz. In Japan ist dieser Fisch eine Delikatesse. Allerdings erfordert seine Zubereitung besonderes Können. Die giftigen Teile des Fisches, wie Haut, Leber und Ovarien, müssen vor einem Verzehr vorsichtig entfernt werden.

Die Kegelschnecke lebt im Pazifik und täuscht ihre Opfer mit einer geschickten Tarnung. Sie vergräbt sich im Boden, so dass nur noch das Schlundrohr zu sehen ist. Fische verwechseln es mit einem Wurm. Versuchen sie den „Wurm“ zu fangen, schießt die Kegelschnecke einen Giftpfeil ab, der das Tier betäubt. Die langsame Kegelschnecke kann den Fisch nun problemlos in ihren Schlund ziehen.

Die in den Tropischen Regenwäldern vorkommenden Pfeilgiftfrösche sind nur zwei bis sechs Zentimeter groß. Dennoch ist die Haut der kleinen Frösche mit einem hochwirksamen Toxincocktail zum Schutz vor Fressfeinden und Mikroorganismen überzogen. Ureinwohner des Regenwaldes benutzen das Gift zur Herstellung ihrer Giftpfeile.

Spinnen vergiften durch einen Biss mit ihren kräftig ausgebildeten Kieferklauen. Zu den giftigsten Exemplaren zählt die schwarze Witwe. Die weiblichen Tiere erkennt man an der charakteristischen roten Zeichnung auf dem Rücken des Tieres. Nach der Paarung vergiften die Weibchen ihre männlichen Partner und fressen sie anschließend. Besonders interessant ist die spezifische Wirksamkeit des Giftgemisches der Spinne. Eines der Toxine wirkt speziell auf Insekten, ein anders auf Wirbeltiere.

Bekannt sind etwa 2700 Schlangenarten, davon sind etwa ein Fünftel giftig. Die schwarze Mamba verfügt neben einem Nervengift auch über gewebeschädigende Enzyme. Dadurch kann das Gift besser und schneller wirken und die Beute wird leichter verdaulich. Das vergiftete Gewebe färbt sich dadurch schwarz.

Von den 1500 Skorpionarten sind 25 so giftig, dass sie für den Menschen tödlich sind. Einige Arten können einen Menschen durch einen einzigen Stich mit ihrem Giftstachel töten. Jede Art hat ihr Gift dabei speziell auf die jeweilige Beute angepasst. Die Gifte bewirken eine Verkrampfung der Muskulatur.

### **Wie wirken Gifte?**

Toxine können sehr unterschiedliche Substanzen sein. Sie können einfache Peptidketten aus Aminosäuren sein oder aus einfachen Bestandteilen wie Zuckern, Fettsäuren oder Aminosäuren aufgebaut sein. Neurotoxine blockieren meist Ionenkanäle und verhindern die Weiterleitung von Signalen oder verstärken Signale, so dass es zu einer Überreaktion kommt. Befehle an die Muskulatur entstehen im Gehirn und werden über die Nervenfasern im Rückenmark zu den Motoneuronen, die für die Kontrolle der Muskulatur verantwortlich sind, weitergeleitet. In der neuromuskulären Synapse wird das Signal auf den Muskel übertragen. Toxine können dazu an verschiedenen Stellen in der Signalübertragung angreifen. Einige Gifte blockieren Natrium- und Kaliumkanäle, die bei der Erzeugung von Aktionspotentialen eine essentielle Rolle spielen. Normalerweise wird ein Signal von der neuromuskulären Synapse auf den Muskel übertragen, in dem sich Calciumkanäle öffnen, die dann die Ausschüttung von Acetylcholin (ACH), einem Neurotransmitter, in den synaptischen Spalt verursachen. ACH öffnet Natriumkanäle in der Muskelmembran, was zur Kontraktion des Muskels führt. Auch hier können Toxine auf die unterschiedlichen Ionenkanälen einwirken.

### **Gifte in der Grundlagenforschung**

Die spezifische Wirkung der Toxine auf bestimmte Ionenkanäle macht sie zu interessanten Werkzeugen bei der Erforschung von Kanalstrukturen. Durch Kombination fluoreszierender Farbstoffe mit Toxinen können Aussagen über die Porenbeschaffenheit von Ionenkanälen gewonnen werden. Eine besondere Schwierigkeit stellt dabei die Gewinnung von einigen Giften dar. Bei Pfeilgiftfröschen zum Beispiel, die über keinen Giftapparat verfügen, muss man die Häute der Frösche sammeln, um ein Gift zu extrahieren. Aus 750 Froschhäuten kann man nur 60mg Alkaloide und daraus wiederum nur 0,75mg reine Substanz herstellen. Deshalb wird versucht, um nicht zu viele Tiere zu töten, über die Identifizierung der Molekülstruktur der Giftes diese synthetisch herzustellen.

### **Gifte in der Schmerztherapie**

In der Schmerztherapie kann z.B. das Conotoxin, das Gift der Kegelschnecke, an Stelle von Morphin eingesetzt werden. Während Morphin auf Dauer seine Wirksamkeit verliert, tritt dieses Langzeitfolge bei Conotoxin nicht auf. Morphin bindet nicht direkt an die Calciumkanäle, sondern an Opioidrezeptoren

und setzen daraufhin Botenstoffe frei, die dann erst auf die Kanäle wirken. Da die Opioidrezeptoren mit der Zeit entkoppeln werden wirkt die Aktivierung nicht mehr auf die Calciumkanäle ein. Durch die unterbrochene Verbindung werden die Calciumkanäle also nicht mehr blockiert. Das Conotoxin bindet direkt an die Calciumkanäle und bleibt daher wirksam.

### **Ausblick**

Es gibt 500 Kegelschneckenarten mit 50.000 unterschiedlichen Toxinen. Davon sind 0,2% erforscht. Man kann sich leicht vorstellen, welche Möglichkeiten in einer Erforschung der vielen unerforschten Toxinen noch liegen. Toxine finden Einsatz zur Therapie von: Schmerz, Epilepsie, Schlaganfall, Hypertonie, Asthma und Herzrhythmusstörungen.

### **Quellen**

- Biologie in unserer Zeit; Vom Jagdgift zur Schmerztherapie; Ilva Putzier, Stephan Frings (2002)

## 6 Geschichtskurs

### Geschichte von den Grenzen

Eine Wissenschaft wird für gewöhnlich durch ihren Gegenstand und ihre Methode definiert - oder aber durch ihre Grenzen (*de finis*)! Im Fall der Geschichtswissenschaft ist letzteres ein außergewöhnlich reizvolles (wenn auch nicht ganz einfaches) Unterfangen. Hier sind nicht nur die Abgrenzungen - zu anderen Wissenschaften, zur Geschichtskultur, zum Schulfach - von Interesse, sondern ebenso die thematischen Grenzbereiche, die stete Reflexion über das Grenzen ziehen an sich und nicht zuletzt auch die immer wiederkehrende Frage, wo die Geschichtswissenschaft an ihre (Leistungs-)Grenzen stößt.

In unserem Kurs werden wir uns das Wesen und den Kern dieser Wissenschaft erschließen, indem wir ihr uns von den Grenzen, von ihren Rändern her nähern. Schon die historischen Exempel entstammen dabei einem Randgebiet (der schulischen Geschichtsvermittlung): dem Mittelalter. Und während wir uns dann beispielsweise mit Magie und anderen (Grenz-)Wissenschaften beschäftigen, den Zusammenhang von Wahrheit und Skrofulose klären, unsere Liebe zum Aberglauben entdecken oder einen Praxiskurs in pseudowissenschaftlicher Geschichtsklitterung belegen, lernen wir zugleich auch Kategorien und Methoden des historischen Arbeitens kennen: Geschichtsbilder, Quellenkritik und -interpretation, Periodisierung, Überlieferung, Alterität, Objektivität und Methodenorientierung - alles durchaus sehr zentrale Aspekte, übrigens...

### Kursleitung

*Dr. Peter Gorzolla*, Historisches Seminar der Goethe-Universität Frankfurt/M.

### 6.1 Einleitende Sitzung

Peter Gorzolla

Neben dem gegenseitigen Kennenlernen standen vor allem drei Aspekte im Mittelpunkt dieser ersten Sitzung: Zunächst tauschten wir uns darüber aus, was uns an der Geschichte fasziniert und zur Beschäftigung mit derselben motiviert. Dabei bestätigte sich die bereits im Kurs des letzten Jahres erkennbare Dominanz der Hoffnung vieler Teilnehmer, durch Kenntnisse über die Vergangenheit zu einem besseren Verständnis der Gegenwart und zu besseren Handlungsoptionen für die Zukunft zu gelangen.

Ein weiterer Sitzungsschwerpunkt bestand in einer vertiefenden Einleitung zum Kursthema. Der zweideutig formulierte Titel weist darauf hin, dass wir einerseits natürlich *über Grenzen* und Grenzphänomene sprechen werden, uns andererseits aber der Geschichtswissenschaft *von den Grenzen her*, aus einer Grenz- oder gar Außenperspektive nähern werden. Dabei ist der Gedanke zentral, dass sich an den Grenzen nicht nur die Form, sondern auch der Charakter der Geschichtswissenschaft erkennen lässt. Warum? Weil sich in ihren Abgrenzungen (von anderen Wissenschaften oder von nichtwissenschaftlichen Bereichen) ihr Selbstverständnis spiegelt, weil an ihren Begrenzungen die alltägliche Realität ihres wissenschaftlichen Arbeitens erkennbar wird, und weil sich nicht zuletzt so ihr Erkenntniswert recht gut beschreiben lässt.

Im abschließenden Teil der Sitzung erhielten alle Teilnehmer die Gelegenheit, spontan ihre vorbereiteten Sitzungsthemen in einem „Improvisations-Pecha-Kucha“ auf einer Flipchart-Seite vorzustellen.

## 6.2 Geschichte als Wissenschaft

Peter Gorzolla

*Mehr als nur ein Hauch von Konstruktivismus...*

Zwei Texte von Luise Schorn-Schütte und Hans-Werner Goetz sollten die Diskussionsgrundlage für die Frage nach Selbstverständnis und (gesellschaftlichem) Nutzen der Geschichtswissenschaft darstellen. Bereits die Wiederholung der Textinhalte warf jedoch so viele Grundsatzfragen auf, dass die Diskussionsfreude beinahe mit dem ganzen Kurs durchging: Was ist Geschichte? Was ist Geschichtswissenschaft? Gibt es einen Sinn historischer Forschung? Wenn ja, wie sieht er aus und wer definiert ihn?

Nach der zentralen und durchaus motivierenden Erkenntnis, dass es „die Historiker [sind], die die Geschichte machen“, kam die Frustration darüber, dass die gleichen Historiker sich jedoch auf eine Definition oder gar Konzeption ihrer Wissenschaft nicht einigen können, gefolgt von der konsternierenden Feststellung, dass die gesellschaftlichen Aufgaben der Geschichtswissenschaft nicht selbst gewählt, sondern von außen an sie herangetragen sind.

Die systemischen und erkenntnistheoretischen Probleme einer Wissenschaft, deren eigentliches Forschungsobjekt - die Vergangenheit - keine fassbare Existenz im Hier und Jetzt besitzt, leiteten die Diskussion notwendigerweise zum Wahrheitsbegriff. Hier konnte sich erstmalig eine Grenzperspektive als hilfreich erweisen: ein Artikel aus *Technology Review* über Wahrheitsbegriff, Quellenautorität und Wissenslegitimation im System der Wikipedia. Sehr schnell wurde den Teilnehmern klar, wie die Unmöglichkeit einer objektiven Faktenüberprüfung geradezu selbstverständlich zur Ausbildung eines methodisch objektivierbaren und konsensualen Verfahrens der Wissensbildung führt, das auf die „tatsächlichen“ Fakten keine Rücksicht nehmen kann.

## 6.3 Geschichtsverständnis

Katja Alt

*Ranke und der Beginn der modernen Geschichtswissenschaft*

Als Grundlage dieser Sitzung diente ein Aufsatz Ulrich Muhlacks über die Geschichtsschreibung Leopold von Ranke. Dieser Historiker des 19. Jahrhunderts, der für viele den Anfang der modernen Geschichtswissenschaft markiert, ging der Frage nach, ob die Geschichtsschreiber seiner Zeit aus den urkundlichen Schriften der (damals) neueren Geschichte „wahrheitsfähige“ Informationen erheben könnten. Die Antwort, die Ranke nach Prüfung vieler bekannter Quellen findet, ist beinahe vernichtend, denn er weist die Unzuverlässigkeit dieser nach. So sagt er zum Beispiel über den bis zu dahin als vollkommen glaubwürdig geltenden Chronisten Beaucaire, dass seine „Mittheilungen weder zureichend noch authentisch sind; daß wir im Dunkeln tappen, so lang wir ihnen gradezu folgen“. Andere Geschichtsschreiber bezichtigt er sogar der bewussten und systematischen Fälschung von Geschichte.

Ranke zeigte auf, dass man als Historiker auf keinen Fall den Chronisten, auch wenn sie Augen- und Ohrenzeugen ihrer Zeit waren, blind vertrauen sollte. Damit macht er auch der *historia perpetua*, der damaligen Vorstellung einer aufeinander aufbauenden, fortlaufenden Geschichtsschreibung ein Ende.

Ranke's Werke sind also ein Plädoyer für das untersuchende Arbeiten an und mit den Quellen und gegen das schlichte Vertrauen auf deren Wahrheitsgehalt. Die Art, in der er die Quellen behandelte, ähnelt einer Kriminaluntersuchung, in der jede Aussage in Frage gestellt wird und dann belegt oder widerlegt werden kann. Heute nennen wir diese Arbeit Quellenkritik.

Aus den Erkenntnissen Rankes ergibt sich für die Geschichtswissenschaft aber noch eine weitere Konsequenz, nämlich die Absage an den Lehrsatz der *historia magistra vitae* (die Geschichte als Lehrmeisterin des Lebens). Wenn die Chronisten einer Zeit nicht losgelöst von dieser berichten, sondern jeweils nur

aus der *einen* Sicht oder Philosophie *ihrer* Zeit schreiben können, so sind auch deren Urteile über andere Zeiten und die Lehren, die sie daraus ziehen, von dieser Philosophie beeinflusst. Hier ordnet sich das berühmte Wort Rankes ein, man habe „der Historie das Amt, die Vergangenheit zu richten, die Mitwelt zum Nutzen künftiger Jahre zu belehren, beygemessen“ - sich davon distanzierend will Ranke „bloß sagen, wie es eigentlich gewesen“.

Ironischer weise wird dieses Bemühen heute oft als positivistisches Geschichtsverständnis missverstanden. Das liegt vermutlich daran, dass die Disziplin noch gar nicht so lange den Positivismus hinter sich gelassen hat und mancher daher etwas sensibel auf ein „eigentlich gewesen“ reagiert. Ranke ging es jedoch im Wesentlichen nicht um die Suche nach einer objektiven Wahrheit, seine Gedanken sind vielmehr als Gegenmodell oder Absage an die Geschichtsphilosophie zu verstehen. Die Geschichtswissenschaft nach Ranke soll sich nicht mehr an gesellschaftlichen Konzepten oder Geisteshaltungen orientieren, sondern sich an das halten was da ist - an die Quellen.

#### 6.4 Quellenbegriff

Peter Gorzolla

Dass der Definition des Quellenbegriffs nach Paul Kirn von 1947 offenkundig nichts Wesentliches mehr hinzuzufügen zu sein ist, zeigt eine nur scheinbare Kontinuität in der geschichtswissenschaftlichen Debatte um den Kernbestand des historischen Arbeitens auf. Wann und wie „Zeugnisse der Vergangenheit“ (die ihrerseits selbst nie die Vergangenheit direkt abbilden) in den Händen des Historikers zu Quellen werden, welche Potentiale ihnen innewohnen und welche Rolle die Fragestellung (und damit die zeit- und kontextgebundene, stets subjektive Perspektive) des Wissenschaftlers dabei spielt, waren Überlegungen, die den funktionalen Charakter des modernen Quellenbegriffs und die damit verbundenen theoretischen Reflexionen über das historische Arbeiten nachvollziehbar werden ließen.

Demgegenüber stehen bis auf den heutigen Tag in Lehrbüchern und -veranstaltungen propagierte Systematisierungskonzepte für „Quellen“, an denen die mühsam erarbeitete, fundamentale Unterscheidung zwischen Zeugnis (als Objekt) und Quelle (als Funktion) unbeschadet vorübergegangen zu sein scheinen. Am Beispiel des Droysen-Bernheim'schen Modells von „Tradition und Überrest“ haben wir die Unschärfen solcher Konzepte beleuchtet und deren methodisch gefährliche Untiefen ausgelotet.

#### 6.5 Quellenüberlieferung

Saskia Schomber  
Betreuerin: Sonja Kruse

##### *Chance und Zufall. Von den Fallstricken der Quellenüberlieferung*

Dass die Überlieferung, die unserer historischen Forschung zu Grunde liegt, lückenhaft und unvollständig ist, erscheint auf den ersten Blick recht logisch. Um jedoch die tatsächliche Tragweite dieser Feststellung zu erkennen, muss man sich gleichzeitig klar machen, dass die Überlieferung zusätzlich auch ungleichmäßig verteilt ist - während wir über einige Begebenheiten sehr viel überliefert haben, ist uns von anderen fast nichts geblieben.

Die genauen Faktoren, durch die Überlieferung bedingt und eingeschränkt wird, waren Thema dieser Sitzung, die auf Arnold Eschs Aufsatz zu „Überlieferungs-Chance und Überlieferungs-Zufall als methodisches Problem des Historikers“ basierte.

Die Verzerrung unseres Bildes von der Vergangenheit durch die lückenhafte Überlieferung zeigt Esch an zwei Beispielen: Obwohl uns aus Lucca eine große Anzahl von Urkunden erhalten sind, erscheint uns die Stadt auf Grund der Art dieser Urkunden nicht als das, was sie eigentlich war, nämlich eine Handelsstadt. Denn es sind in erster Linie Grundbesitzurkunden überliefert worden, was nicht zur Annahme verleitet, dass Lucca eine weltoffene Handelsstadt war. Dies leuchtet bei einigem Nachdenken aber ein, da im Handel Termingeschäfte üblich sind, deren schriftliche Zeugnisse schnell an Nutzen verlieren und weggeworfen werden. Grundstücksurkunden wiederum spiegeln einen Besitzanspruch wider, der auf längere Zeit vorzeigbar sein musste, und wurden deshalb besser verwahrt.

Gleiches gilt für die vermeintliche Allmacht der Kirche im Mittelalter: Nur weil Dokumente in kirchlichen Archiven größere Überlieferungs-Chancen haben und die Kirche ausschließlich Akten und Dokumente aufbewahrte, die ihnen nutzen und sie als Sieger hervorhoben, heißt dies nicht, dass es keine anderen Dokumente gab - sie sind uns nur nicht erhalten.

Die Chance eines Dokuments, einer jeden historischen Quelle, zu uns zu gelangen, ist nicht immer gleich groß - sie wird durch gewisse Faktoren begünstigt oder behindert. Esch unterscheidet dabei zwei Ebenen von *Überlieferungs-Chance*, die wir herausarbeiteten:

Zum einen gibt es die Chance eines existierenden Dokuments, erhalten zu bleiben und überliefert zu werden. Wie oben genannt, sind das zunächst jene, die langfristig gültig und wertvoll sind. Genau so hängt es von klimatischen Umständen und dem kulturellen, sozialen oder politischen Umfeld ab, wie lange Dokumente erhalten bleiben. Kirchliche Archive beispielsweise versprachen größere Überlieferungs-Chancen als öffentliche oder gar Privatarhive. Gute Chancen haben außerdem auch Quellen, die weitere Quellen erzeugen, und somit wieder aufgegriffen werden.

Zum anderen gibt es aber auch historische Begebenheiten, die einfach niemals in eine Quelle gelangen, die nie aufgeschrieben oder anderweitig „historisch haltbar“ gemacht werden. Die Schicksale der Individuen der unteren Schichten gelangen beispielsweise im Normalfall nicht in Quellen, es sind vielmehr die Leben berühmter Persönlichkeiten, die aufgeschrieben werden. Gleichermaßen begünstigt die Überlieferungs-Chance Fatales und Ungewöhnliches, benachteiligt aber den Alltag, über den uns praktisch nichts überliefert ist, da niemand es für nötig gehalten hat, beispielsweise den Tag eines Zimmermanns aufzuschreiben. Schiffsunglücke wurden erwähnt, die sichere Einfahrt eines Schiffes in den Hafen aber nicht. So kommt es, dass höchstens aus Totenlisten oder Prozessakten die Namen der „normalen Menschen“ erhalten sind.

Dem steht der *Überlieferungs-Zufall* gegenüber, der an sich kein natürliches Phänomen ist. Die Möglichkeit dazu wird erst durch den Menschen und seinen Hang zur Systematisierung erschaffen. Erst durch die von Menschenhand erzeugte Ordnung in Archiven kann es geschehen, dass gewisse Gruppen (seien sie nach Alphabet oder Genre oder einem anderen System geordnet) zufällig und selektiv ausgelöscht werden. Diese Auslese funktioniert nach keinem festen Prinzip, sie ist willkürlich und kennt auch keine Überlieferungsabsicht. Dies führt dazu, dass die Überlieferungsverluste durch beispielsweise Hochwasser in einem klösterlichen Archiv vielleicht ein für uns breit erscheinendes Spektrum verschiedener Dokumente übrig lassen. Das muss aber nicht immer so sein - dann kommt es, um im Bild zu bleiben, nur darauf an, wie lange das Wasser steigt und es entscheidet sich ganz zufällig, ob uns die Dokumente im Regal „A“, „H“ und „N“ erhalten bleiben oder eben nicht.

Zuletzt haben wir in einer gemeinsamen Plenumsdiskussion unter anderem die Fragen erörtert, a) welche Probleme sich für den Historiker aus den zusammengetragenen Überlieferungseinschränkungen ergeben und wie man b) diesen Problemen in der Geschichtswissenschaft begegnen kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir zu dem Schluss gekommen sind, dass sich aus der Einrechnung von Chance und Zufall in die Überlieferung eine Vielfalt an Problemen ergibt. Dazu gehört unter anderem unsere von Natur aus verzerrte Wahrnehmung der Vergangenheit, aber auch die Gefahr, dass wir jene Lücken nicht ins Bewusstsein rücken, sondern „linear“ mit Wissen aufzufüllen versuchen. Auch wird oftmals die Quantität der Quellen ihrer Qualität zur Bewertung vorgezogen. Uns fehlt zudem der

zeitgenössische Bezugsrahmen, der durch nichts zu ersetzen ist, weshalb es uns auch nicht möglich ist, kontextlose Informationen zu verstehen. Diesen Problemen entgegen zu wirken, gestaltet sich schwierig, aber nicht unmöglich, wie auch Esch betont. Wichtig ist es, Fragen zu stellen und sich der Lücken bewusst zu sein, also auch zu wissen, dass nicht nur die Überlieferung, sondern auch unser Bild von der Vergangenheit lückenhaft ist. Gerade aus diesem Grund muss man, so haben wir befunden, offen und flexibel bleiben, so dass historische Erkenntnisse nicht mit absolutem Wahrheitsanspruch verbucht werden. Stattdessen gilt auch hier, wie überall in der Geschichtswissenschaft, das Prinzip der Multiperspektivität.

Zum Abschluss stellten wir noch fest, dass die Geschichtswissenschaft mit ihren Problematiken eigentlich die Alltagswissenschaft schlechthin darstellt - denn mit dem Problem völliger Subjektivität und niemals objektiver Wahrnehmung des Einzelnen sind wir tagtäglich konfrontiert, beispielsweise bei der Beurteilung von Medien.

## 6.6 Quellenkritik, Teil I

David Twardella  
Betreuer: Volker Kehl

### *Pseudowissenschaft! Die Illig-Kontroverse*

300 Jahre Mittelalter sind reine Erfindung? Karl der Große hat nie existiert? Nun, zumindest behauptet dies Heribert Illig in „Das erfundene Mittelalter“ von 1991, in dem er seine Thesen über die „Phantomzeit“ das erste Mal darlegte. Daraus entspann sich eine Debatte, deren Nachwirkungen man bis heute spüren kann.

Nach einem musikalischen Einstieg in die Sitzung (mit einem selbstverfassten Illig-Lied der Betreuer) habe ich in einem Kurzreferat die Hauptthese Illigs präsentiert, die an der Debatte beteiligten Personen vorgestellt und den Ablauf der Debatte selbst dargelegt.

Die Hauptthese Illigs besteht darin, dass 297 Jahre (von 614 und 911) nie existiert haben, sondern eine Erfindung von Schreibern des Hochmittelalters seien. Heribert Illig, geboren 1947 in Bayern, studierte Germanistik und war später als Publizist und Privatlehrer tätig - ausgebildeter Historiker ist er also nicht. „Das erfundene Mittelalter“ wurde nach seiner Veröffentlichung zuerst kaum wahrgenommen oder besprochen. Doch mit der Zeit wurden die Medien immer mehr auf Illig aufmerksam, und so begannen Zeitungen, Radio und Fernsehen über seine Thesen zu berichten. Mit steigender Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit schienen die Historiker zu einer Reaktion gezwungen - doch erstaunlicherweise wollte sich kaum jemand des Themas annehmen. Es war dann ausgerechnet der berühmte Mediävist Johannes Fried (geboren 1942, lehrte bis 2011 in Frankfurt), der im Rahmen einer Dankesrede vor einem breiten Fachpublikum als erster Illigs Thesen begegnete. Die Rede, unter dem Titel „Wissenschaft und Phantasie“ 1996 gedruckt, behandelt die Themen Phantasie und Sprache und ihre Bedeutung für die Geschichtswissenschaft.

Fried sagt, dass das wichtigste Medium, mit dem sich die Geschichtswissenschaftler ausdrücken können, die Sprache ist. Die Sprache wird immer zur Erklärung benötigt. Um Sprache richtig einzusetzen zu können, benötigt der Historiker laut Fried die Gabe der Phantasie: um sich das Geschehene vor Augen zu halten und es dann schriftlich niederzuschreiben und anderen mitzuteilen. Somit wird die Sprache subjektiv und die Geschichtsschreibung durch sie uneindeutig und Streitbar. Naheliegender Weise erscheint Phantasie unter Historikern eigentlich als „Buhwort“, da es den Eindruck erweckt, dass man seine Ergebnisse nicht beweisen oder belegen kann, sondern einfach erfindet - bei Fried wird die Phantasie aber zur Notwendigkeit.

Unser Material komplettierte eine Rezension von Rudolf Schieffer, der sich damit 1997 in der Fachzeitschrift „Geschichte in Wissenschaft und Unterricht“ zu Illigs Thesen geäußert hatte. Der Mediävist Schieffer, geboren 1947 in Mainz, gilt als Spezialist für die Merowingerzeit. Auf Grundlage dieser Texte erarbeitete der Kurs nun die Thesen und Argumente, mit denen die Debatte geführt wurde. Diese umfassten kalendarische, diplomatische, astronomische, archäologische, architektonische und argumentationslogische Aspekte - vor allem stand im Mittelpunkt aber Illigs Umgang mit den Quellen.

Wir sprachen an, dass Illig gravierende Fehler bei der Bewertung von Quellenmaterial begangen hat. Er wertete alle Quellen, die er als nicht original ansah, als Fälschung. Tatsächlich war es im Mittelalter aber üblich, Kopien von Dokumenten etc. herzustellen, da viele Originale keine lange Lebensdauer hatten. Diese Kopien werden in der Geschichtswissenschaft als gleichwertige Dokumente gewertet, und es ist ein fataler Trugschluss von Illig, diese als einfache Fälschung zu bezeichnen. Somit zeigt Illig in diesem und auch in den anderen Fällen, dass ihm die richtige Fachkunde des Historikers fehlt. Fried und Schieffer widerlegen Illig in fast allen Punkten und es wird deutlich, dass sie sehr wenig von seinen Thesen halten. Doch auch für sie gibt es Grenzen, was man zum Beispiel daran erkennt, dass Schieffer nicht genau auf die Fragen in Archäologie und Datierung eingeht, sondern sagt, dass sich darum Kunsthistoriker kümmern müssen, die die dazu nötigen Fachkenntnisse besitzen. Auch muss man an dieser Stelle deutlich machen, dass Illig recht darin behält, dass viele Fragen offen und viele Rätsel bestehen bleiben, die vorerst noch als ungelöst gelten. An diesen Stellen können auch Fried und Schieffer (und mit ihnen die gesamte Geschichtswissenschaft) keine befriedigenden Antworten geben. Doch führt Illigs Methode, diesen Rätseln entgegen zu treten, nicht zu einer Lösung, sondern zu einem Ergebnis, das noch unbefriedigender ist und noch größere Widersprüchlichkeiten in sich birgt. Kritik an den Quellen, so zeigt sich hier, ist gefährlich, wenn sie nicht als Quellenkritik ausgeführt wird.

## 6.7 Quellenkritik, Teil II

Maximilian Ehrhard  
Betreuerin: Katja Alt

### *Geschichtsklitterung oder Wie die große Hexenverfolgung **nicht** anfing*

Für das moderne Geschichtsverständnis ist es wichtig, dass man Fakten kennt, um über ein Ereignis zu urteilen. Quellen sollen dabei Verständnis schaffen und unser Wissen erweitern, denn sie sind die Reflexion früherer Zeiten und ein wichtiger Bestandteil unserer heutigen Kenntnisse. Demnach vertrauen wir auf die Zuverlässigkeit von Historikern und deren Quellenarbeit, da wir von ihnen „Zeugnisse der Wahrheit“ erwarten.

Dennoch hat sich für uns gezeigt, dass nicht alle Historiker genau und akkurat gearbeitet haben, sodass es zu sinnentstellenden Verwendungen von Fakten und fälschender Geschichtsschreibung kam. Dieses Phänomen wird durch den Begriff der *Geschichtsklitterung* beschrieben.

Ein gutes Beispiel für eine Klitterung in der Geschichte ist die Hexenverfolgung. Wir haben aus heutiger Sicht viele „Fakten“ von Historikern aus der Vergangenheit überliefert bekommen, die wir akzeptiert und in unser Geschichtsbild aufgenommen haben. So erfahren wir z.B., dass 1275 die erste Hexenverbrennung in Toulouse stattgefunden haben soll und dass im Jahre 1350 in Carcassonne nach Massengerichtsverhandlungen rund 600 Hexen exekutiert worden sein sollen.

Woher wissen wir das? Die zwei am häufigsten verwendeten „Quellen“ (im Sinne der Herkunft unseres Wissens) für diese Geschichten stellten im vergangenen Jahrhundert die Werke von Wilhelm Gottlieb Soldan (1843) und Joseph Hansen (1900) dar. Es ist klar, dass diese beiden Historiker ihr Wissen aus früheren Werken bezogen haben müssen, denn auch sie waren ja bei der ersten Hexenverbrennung nicht

dabei. Ihre Hauptquelle war die *Histoire de l'Inquisition* von Étienne-Léon de Lamothe-Langon (1829), die lange Zeit als wichtige Grundlage für Gelehrte und das moderne Verständnis der Hexenverfolgung galt. Auch Lamothe-Langon bezieht seine Kenntnisse aus älteren Werken: der *Histoire ecclésiastique et civile de la ville et diocèse de Carcassonne* (1741) des Augustinermönchs T. Bouges und der Chronik des Guillaume Bardin (1455).

Hier beginnen schon die ersten Probleme. Denn Bouges hatte die Chronik von Bardin einfach übersetzt, womit wir eine Quellenverschmelzung bezüglich des Inhalts feststellen können. Bereits 1742 wurde erstmals Kritik an der unseriösen Bardin-Quelle durch Vaisette und Molinier ausgeübt, die eine Quellenfälschung zu erkennen glaubten: Der von Bardin genannte Inquisitor war zur Zeit des angeblichen Prozesses längst verstorben, wie man aus anderen Quellen wusste. Dieser Sachverhalt stammte also aus Bardins Fantasie.

Und Lamothe-Langon hatte, wie wir spätestens seit Norman Cohn (1973/1993) wissen, nicht als Historiker, sondern als historischer Romanautor fungiert, als er seine Inquisitionsgeschichte schrieb. Nach einer Karriere als Groschenromanautor war er in das augenscheinlich lukrativere Feld der historischen Sachbücher gewechselt, um dort aber im selben Stile weiterzuarbeiten: Die von Bardin erwähnten Ereignisse schmückt Lamothe-Langon durch vollkommen erfundene Details noch weiter aus, und er hat auch keine Skrupel, zu deren Unterstützung komplette Quellenbestände zu erfinden. Generationen von Historikern nach ihm haben es bedauert, dass diese Quellen offenbar in der Französischen Revolution verloren gingen - ihre Existenz haben sie aber nie angezweifelt.

Am Beispiel der ersten Hexenverbrennung in Südfrankreich wird deutlich, dass unser heutiges Wissen über „Fakten“ auf falschen Tatsachen beruhen kann. Es ist erstaunlich und erschreckend zugleich, wie viele Medien noch heute auf diese Geschichtsklitterung und den Hauptfaktor Lamothe-Langon hereinfallen. Zahlreiche Internetseiten geben die Geschichte der Hexenverbrennung wortgetreu nach Lamothe-Langon wieder, und auch in vielen Sachbüchern findet man Hinweise auf den falschen Ablauf der Hexenverfolgung. Bei einer Internetrecherche entdeckte ich, dass hauptsächlich kirchliche Seiten in Bezug auf das Thema Hexenverfolgung sehr kritisch sind und auch Zweifel erheben, wohingegen Foren und Info-/Themenseiten meist unkritisch falsche Informationen weiter verbreiteten. Am interessantesten war zu sehen, dass ein englischer Wikipedia-Eintrag für die „erste Hexe“ (Angela de la Barthe) angelegt wurde - also ein Eintrag für eine fiktive Person, die niemals existierte und aus Lamothe-Langons Fantasie stammte.

Insgesamt kann man sagen, dass dieses „Falschwissen“ enorm verbreitet ist und dass es nur aus einem Grund so breit überliefert wurde: Niemand prüfte die Quellen und Schriften, sondern man arbeitete einfach mit den Inhalten der Texte. Diese Klitterung und das Versagen der Historiker sollen uns vor Augen führen, dass wir nicht naiv sein dürfen, sondern stets kritisch und aufmerksam unseren Verstand einsetzen müssen.

## 6.8 Begriffsgeschichte

Johanna Leyhe  
Betreuerin: Anna Burgdorf

### *Moderne Theorieansätze: Das Beispiel Begriffsgeschichte*

Die Sitzung wurde durch eine Kollage über die Bedeutung von Sprache eröffnet. Anschließend erarbeiteten wir auf Basis von Reinhart Kosellecks „Begriffsgeschichte und Sozialgeschichte“ eine Definitionsidee der Begriffsgeschichte.

Laut Koselleck handelt es sich bei der Begriffsgeschichte um einen eigenständigen Zweig der Geschichtswissenschaft, welcher anhand von Begriffen Geschichte interpretiert. Hierbei arbeitet die Begriffsgeschichte stets textorientiert und unter Bezugnahme des Gesamtkontextes der Quelle, der persönlichen Lage von Verfasser und Adressat, der politischen und sozialen Situation, des Sprachgebrauchs und auch unter Bezugnahme der Parallel- und Gegenbegriffe.

Diese spezialisierte Methode der Quellenkritik durchbricht den einfachen Kreislauf der Rückschlüsse von Wort auf die Sache zurück zum Wort, indem sie den Zusammenhang zwischen Begriff und Wirklichkeit reflektiert und vergangene Bedeutung in modernen Begriffen erfasst. Begriffe fungieren als Indikatoren und Faktoren in Bezug auf Verhältnisse, Entwicklungen und Wandlungen, deren Summe der Begriffsgeschichte entspricht. Sie schlüsselt die Erfahrungen und Theorien auf und legt so stets neue Schichten frei, die durch eine reine Sachanalyse verborgen blieben.

Vertiefend setzten wir uns dann mit dem Unterschied von Begriff und Wort auseinander. Hierbei erarbeiteten wir, dass Begriffe stets aus Worten bestehen, jedoch nicht jedes Wort ein Begriff ist. Ein Begriff erhebt einen Allgemeinheitsanspruch und ist immer vieldeutig, wohin gegen ein Wort im Gebrauch eindeutig werden kann. Die Entwicklung eines Begriffes wird erheblich durch das außersprachliche Umfeld geprägt und funktioniert so als Indikator und Faktor in Bezug auf historische Wandlungsprozesse.

Zur Verdeutlichung des begrifflichen Wandels arbeiteten wir, dem Text Kosellecks folgend, die Veränderung am Beispiel des Begriffes des „Bürgers“ seit etwa 1700 heraus. Darauf sammelten wir Ideen für eigene Definitionen zum heutigen Bürger-Begriff. Hierbei umfassten die Definitionsversuche unterschiedliche Wertungen und Assoziationen vom „Wutbürger“ bis zum „Spießbürger“. Ebenfalls wurden diverse politische Verbindungen zwischen dem Begriff des Bürgers als Teil der demokratischen Gesellschaft und den damit verbundenen, vom Begriff implizierten Rechten und Pflichten diskutiert. Auch die Gegenbegriffe des Nichtbürgerlichen wurden in die Definitionen einbezogen. Ein Diskurs über das „Bürger-Sein“ als Ideal und der Versuch, eine wertfreie Definition zu finden, leitete zu einer kontroversen Diskussion über Bedeutung und Möglichkeiten der Begriffsgeschichte über.

Sprache und die Auseinandersetzung mit ihr ist ein äußerst vielschichtiges Thema, die Auslegungsmöglichkeiten für einen einzigen Begriff sind vielfältig, abhängig von Kulturkreis, vom gesellschaftspolitischen Umfeld und der eigenen Beschaffenheit. Als Beispiel wurde hier auf Helmut Schmidt und Christian Klar verwiesen, die wohl äußerst unterschiedliche Ansichten zum Begriff des „Staates“ geäußert hätten.

Es gibt für die Betrachtungen eines Begriffes kein jederzeit anwendbares Schema, viele Aspekte der Betrachtung ergeben sich situativ, die Intensität dieser lässt sich nicht definieren, schließlich sind auch wir nur dazu in der Lage, die Begriffsbetrachtung mit weiteren Begriffen anzugeben - die Begriffsgeschichte bekommt so den Charakter einer Sisyphusarbeit: unendlich, unfreiwillig, unergiebig.

Doch warum findet dann eine ständige Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Begriffsgeschichte statt, warum gewinnt sie auch an internationaler Bedeutung? Wer sich mit Geschichte auseinandersetzt, muss sich zwangsläufig mit Quellen auseinandersetzen, die meisten davon liegen in schriftlicher Form vor. Wer sich nun mit den Begriffen auseinandersetzt, erhält einen direkten Zugang zur Denkstruktur und zur Lage des Verfassers. Erst durch außersprachliche Faktoren wie das politische, wirtschaftliche, soziale, geistige oder religiöse Umfeld lässt sich die Bedeutung eines Begriffes zu einem bestimmten Zeitpunkt feststellen, die Begriffsgeschichte öffnet also den Blick für den zeitgenössischen Hintergrund und schafft so ein besseres Verständnis für Verfasser und Verfasstes. Sprache ist ein Indikator für Bildung, gesellschaftliches Prestige, Macht, Gemütslage, gesellschaftspolitische Situation, etc. und wird mit Hilfe der Begriffsgeschichte konkretisiert und greifbar gemacht.

Allerdings ist hier die Begriffsgeschichte auch mit Problematiken konfrontiert: So ist die Begriffsbearbeitung durch die Vielzahl der zu beachtenden Einflüsse komplex und erfordert Zeit und Ausdauer, damit auch eher unbekanntere, trotzdem prägende Einflüsse entdeckt und einbezogen werden. Zusätzlich an Komplexität gewinnt die Begriffsgeschichte durch ihre Arbeit zwischen verschiedenen Sprachen,

allein das Finden eines adäquaten Übersetzungsbegriffes wirft Schwierigkeiten auf. Begriffe sind wie ein Spiegel der Gesellschaft, sie können verändern, trösten, vernichten; Sprache ist eine Form der Macht. Die mittels der Begriffsgeschichte bearbeiteten Begriffe haben das von ihnen beschriebene Ereignis überdauert und sind vielleicht das einzige Zeugnis dessen - und somit für Historiker unentbehrliche Helfer bei der Aufarbeitung unserer Vergangenheit, beim Verständnis unserer Gegenwart und beim Erahnen unserer Zukunft, Helfer, die stets im Bewusstsein präsent bleiben sollten.

## 6.9 Alterität und Modernität, Teil I

Antje Loyal  
Betreuer: Volker Kehl

### *Die wundertätigen Könige*

Heute klingt es für uns unrealistisch, wenn wir lesen, dass die Könige von England und Frankreich durch bloßes Handauflegen Krankheiten heilen konnten. In Marc Blochs Schrift „Die Wundertätigen Könige“ (orig. 1924) geht es genau um dieses Thema.

Kurz zum Autor: Der Franzose Bloch war Historiker und Mitbegründer der einflussreichen Annales-Schule. Er trug maßgeblich zur Etablierung der Mentalitätsgeschichte bei, unter anderem mit dem genannten Werk. Mit ihr plädiert er für einen Geschichtszugang, der auf Emotion, Denken und Einstellung der Menschen anderer Zeiten basiert - was denn auch die Erschließung neuer Quellenarten erforderlich macht.

Blochs Text beginnt mit der Erklärung eines Zwists zwischen England und Frankreich, bei dem der englische König Edward III. seinen französischen Gegenpart aufforderte zu beweisen, dass er der wahre König ist. (England erhob damals Anspruch auf die französische Krone.) Dazu schlug Edward ein Duell, einen Kampf gegen einen Löwen oder eine Wunderheilung vor. An dieser Stelle weist Bloch darauf hin, dass diese Vorschläge damals nicht nur üblich waren, sondern dass etwa die Heilung der Skrofulose (eine Hautkrankheit) durch bloßes Handauflegen des Königs vollbracht werden konnte und es damals keine Skeptiker gab, die das anzweifeln. Bloch setzt hier seine Kritik an, da die Historiker seiner Zeit diesen „Aberglauben“ meist noch nicht einmal erwähnten.

Wir stellten uns in der Sitzung nun zunächst die Frage, ob wir als Menschen des 21. Jahrhunderts daran glauben, dass solch eine Heilung damals möglich war.

Einhellig war erst die Meinung, dass es keine wissenschaftliche Möglichkeit gäbe, dass dies „wahr“ sein könne. Höchstens psychologische Effekte wurden zugelassen, die durch den Glauben an eine Heilung den Menschen tatsächlich das Gefühl gaben, sich besser zu fühlen. Kein Kursteilnehmer wollte an eine wirkliche Heilung glauben; hierbei wurden folgende Argumente vorgebracht:

Eine solche Heilung tritt oft von selbst ein und wird dann durch falsche Kausalzusammenhänge in Verbindung mit dem König gebracht. Misserfolge wurden nicht überliefert. Die Tätigkeit des Königs soll gottgegeben gewesen sein, dies erscheint heute nicht mehr wahrscheinlich. Skrofulose war eine sehr häufige und entstellende Krankheit und eignete sich für solche Geschichten. Die angeblichen Heilungen entsprechen nicht unserem heutigen Bild von Wissenschaft.

Dabei argumentierten wir in diesem Moment jedoch unwissenschaftlich und genau auf die Weise, wie wir sie in den letzten Sitzungen als der Geschichtswissenschaft nicht zuträglich erkannt hatten. Wir hatten uns komplett dem Thema verschlossen, weil wir aus unserer Perspektive die Heilung als unmöglich ansahen. Wir verfielen damit dem Aberglauben unserer Zeit, das heißt: Wir verurteilen alles außerhalb unseres Weltbildes - dem naturwissenschaftlichen, dessen Empirie jedoch ebenfalls Lücken aufweist -, weil wir nicht akzeptieren können oder wollen, dass so etwas passiert sein kann.

Um aber die Quellen und die in ihnen beschriebenen Handlungen und Motive wirklich zu verstehen, kommt es jedoch darauf an, offen zu bleiben und die grundsätzliche Möglichkeit einer Heilung durch die Könige nicht von vornherein abzulehnen.

Ebenso wichtig ist es, sich vor Augen zu behalten, dass auch unsere von Wissenschaft und (wie wir selbst erklärten) „ratio“ geprägte Weltanschauung nicht minder auf Konstruktion und vor allem auch *Glauben* beruht, genauso wie die „religiöse Weltanschauung“ der Menschen im Mittelalter.

Dies führte uns schließlich zu dem Schluss, dass man sich vor der Quellenkritik von seinen eigenen Voreinstellungen und Beschränkungen lösen muss, da unsere Form des Glaubens (an die Naturwissenschaft) und unsere Definition des Aberglaubens den Quellenaussagen in diesem Fall beispielsweise diametral entgegengesetzt waren.

Als Fazit der Diskussion lässt sich festhalten, dass der Historiker sich der Tatsache bewusst sein muss, dass die Welt eine Konstruktion ist und dass dabei das Konzept der Alterität von zentraler Bedeutung ist. Leider ist Alterität (in diesem Fall die Andersartigkeit des Mittelalters) schwer zu beschreiben und zu behandeln; insgesamt ist es schwer festzumachen, wo sich Menschen und ihre Menschenbilder veränderten und zu welchem Zeitpunkt Weltbilder eine andere Richtung annahmen.

Kritisch sind deshalb die Geschichtsbilder im 18. und 19. Jahrhundert zu betrachten, in denen die Historiker dazu neigten, die Alterität des Mittelalters zu ignorieren und von den Prämissen ihrer eigenen Zeit auszugehen. Dabei ging es vor allem um Innovationen: Nur Quellen, die Neues und Unbekanntes enthielten, waren wichtig und wurden zitiert. Dadurch wurde natürlich die ohnehin schon schwierige Überlieferungssituation noch weiter verzerrt und schwieriger gemacht. Letztlich sind so die Werke des Mittelalters, die den zeitgenössischen Lesern wichtig und bedeutend waren, keinesfalls deckungsgleich mit jenen, die die aufklärerischen Historiker späterer Zeiten als wichtig empfanden.

Abschließendes Fazit: Man muss sich beim historischen Arbeiten des Konzepts der Alterität bewusst sein und in die Untersuchung einfließen lassen. Dann kann man auch „unwahre“ Quellen mit „erfundenen“ Elementen erfolgreich behandeln.

## 6.10 Alterität und Modernität, Teil II

Jan Fulde

Betreuerin: Sonja Kruse

### *Die Erste-Ritter-Liga*

In meiner Sitzung stand ein Auszug aus dem Werk „Guillaume le Maréchal oder der beste aller Ritter“ von Georges Duby (orig. 1984) im Vordergrund. Duby erzählt das Leben des Guillaume le Maréchal und seine Verbindungen zum ritterlichen Turnierwesen, durch die er dank seiner Begabung im Kampf zu Ruhm und Ehre gelangte. Die Sitzung begann mit einem Brainstorming zu den Eindrücken, die der Text bei den Teilnehmern hervorrief. Folgende Stichpunkte wurden genannt: ein Roman - Detailreichtum - komisch und nicht passend - lebhaft - fantasievoll.

In einem darauffolgenden Kurzreferat berichtete ich jedoch, dass Georges Duby kein Romanautor war, sondern ein renommierter französischer Mediävist und einer der herausragendsten Repräsentanten der Annales-Schule. Den Schwerpunkt seiner Forschungen legte Duby nicht auf den hochrangigen, sondern auf den „Durchschnittsmenschen“; sein Ausspruch „denn die Menschen richten ihr Verhalten nicht nach ihrer tatsächlichen Stellung, sondern nach dem Bild, das sie sich von ihr machen, was jedoch ein getreues Abbild ist“, sollte eine Kluft zwischen dem Verhalten der Menschen und den Wertsystemen aufzeigen. Das vorliegende Werk hatte er in enger Anlehnung an eine zeitgenössische Biographie des „besten aller Ritter“ verfasst.

Um so überraschender sind die Inhalte des Textes, die uns so gar nicht mittelalterlich vorkommen. Wir diskutierten, was uns an diesem Text überrascht oder interessiert hat: das Wesen des Turniers und die verschiedenen Disziplinen zum Beispiel. Mit einbezogen haben wir natürlich auch, wie die Information, wo ein Turnier stattfinden sollte, weitergeleitet wurde: Turniere wurden sehr kurzfristig geplant, denn die Kirche verbot derlei Ritterspiele; sie sah die Ritterspiele als sündhaft an, denn diese hielten z.B. die Ritter davon ab, Kreuzzüge durchzuführen. Die Nachrichten über den nächsten Turnierort mussten also geheim und schnell reisen, um einem bischöflichen Verbot oder Vorkehrungen gegen das Turnier zuvorzukommen. Geld spielte offenbar eine sehr große Rolle im Turnierwesen, schließlich kosteten Ausrüstung und Pferd viel Geld und dieses Geld musste der Turnierteilnehmer sich im wahrsten Sinne des Wortes hart erkämpfen. Viele Ritter kämpften nur des Geldes und des Ruhms wegen, den sie dank der Ritterturniere erlangen konnten. Doch auch um die Kämpfer herum wurde viel Geld umgesetzt; Turniere waren große Festveranstaltungen mit vielen zahlenden Gästen.

In einer Gruppenarbeit stellten wir nun Analogien zwischen dem mittelalterlichen Turnierwesen nach DUBY und dem modernen Sportbetrieb auf. Trotz einiger erheblicher Unterschiede konnten wir dabei eine Vielzahl von Gemeinsamkeiten (bis hinein in die Details) feststellen, die das mittelalterliche Turnierwesen in unseren Augen ungemein „modern“ wirken lassen: festgelegte Spielfeldabgrenzungen; Werbung für und Organisation von (zugleich wirtschaftlichen) Großveranstaltungen; die Internationalität des Turnierwesens; Sponsoren; Spielpläne; Vereinheitlichungen und Standards; Nationalmannschaften; Mannschaftskapitäne; allgemeines Regelwerk; Mannschaftsabzeichen; gewinnorientierte Bezahlung; Prestige und Ruhm für erfolgreiche Turnierritter; Ehrenkodex/Fairplay usw.

Nach diesen Erkenntnissen blieb aber zu fragen: Was hat das Ganze mit Alterität zu tun?

Wir sind zu der Erkenntnis gekommen, dass das Mittelalter in all seiner zu beachtenden Alterität (Andersartigkeit) nicht automatisch und immer anders oder gar „altmodischer“ gewesen sein muss. In diesem speziellen Fall des Turnierwesens zur Zeit des Guillaume le Maréchal scheint es etwa der modernen Zeit, was das Organisatorische betrifft, in keiner Weise nachzustehen. Das macht den Umgang mit der Alterität nicht einfacher. Außerdem kommt noch eine weitere Falle hinzu: Denn was uns „modern“ erscheint, muss noch lange nicht notwendigerweise auch „modern“ sein. Für den Historiker ist es riskant, einfache Parallelen oder Analogien zu ziehen und zu dem Schluss zu kommen, es sei alles einfach rekonstruierbar - sei dies nun in der Deutung „anders als heute“ oder „genauso wie heute“.

## 6.11 Fälschungen im Mittelalter

Dennis Bepler  
Betreuerin: Katja Alt

Die Sitzung wurde mit einem Verweis auf die Basistexte (Horst Fuhrmann, „Von der Wahrheit der Fälscher“, und das Kapitel „Fälschungen“ aus Ahasver von Brandts „Werkzeug des Historikers“) eröffnet. Anschließend erfolgten detailliertere Informationen zur Person Fuhrmanns, dessen Aufsatz zahlreiche Beispiele für mittelalterliche Fälschungen enthält.

Daran knüpfte sich die gemeinsame Aufgabe an, alle Beispiele in Kategorien zu ordnen. Wir kamen einstimmig zum Ergebnis, dass die Kategorisierung aus dem Objekt heraus geschehen müsse. Zudem konnten wir uns mit „Inhalt“ und „Formales“ relativ schnell passende Kategorien erschließen. Wir überlegten uns dann jedoch genau, welche weiteren Einteilungen der Fälschungen möglich sein könnten. Nach einer guten Diskussion kamen wir zu dem Ergebnis, dass auch die Intention des Urhebers sowie die Auswirkung oder Anerkennung der falsifizierten Quellen eine wesentliche Rolle spielen. Ist die Fälschung nämlich absichtlich oder unabsichtlich vorgenommen worden? Und auf welche Art und

Weise wird die Fälschung von den Lesern wahrgenommen? Es ist nämlich festzustellen, dass eine Quelle erst falsch sein und dann für formal richtig erklärt werden kann. An dieser Stelle ist zu erkennen, dass verschiedene Fälsfikate sich in ihrem Potential der Überlieferungschance unterscheiden.

Anschließend befassten wir uns mit einer sehr wichtigen Aufgabe jedes Historikers: mit der Verwertung von Quellen, die eben auch „Fälsfikate“ sein können. Das *discrimen veri ac falsi*, d.h. die Unterscheidung zwischen echt und falsch, ist für die Verwertung einer Quelle eine wichtige Frage, welche es bei der Quellenkritik zu beantworten gilt. Allerdings muss bei der Beantwortung dieser Frage beachtet werden, dass die Bewertung von echt und falsch nicht in ein Schwarz-Weiß-Denken münden darf. Auf der Grundlage dieser Erkenntnis muss die Geschichte nun nicht komplett neu geschrieben werden, denn Fälschungen können echt sein und sogar Originale können täuschen.

Von den „Fälschern“ des Mittelalters wurde die Welt als unvollkommen betrachtet, Fälschungen sorgten nach deren Ansicht für mehr Vollkommenheit, indem sie einen erwünschten „richtigen“ (wieder-)herstellten. So war z.B. eine *pia fraus*, d.h. eine „rechtmäßige Täuschung“ oder ein „gottesgefälliger Betrug“, in Bezug auf kirchlich-religiöse Zwecke durchaus legitim. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der mittelalterliche Wahrheitsbegriff nicht als absolut, sondern eher als relativ zu beschreiben ist und sich stärker auf eine offenbarte denn eine empirisch fassbare Wahrheit ausrichtet. Auch die Beziehung des mittelalterlichen Menschen zu Urheberrecht und Recht des Fremden sowie zu Wahrheit und Lüge war eine andere, als wir sie in der Moderne wahrnehmen können. Da die historischen Kenntnisse der Menschen im Mittelalter unausgeprägt und mangelhaft waren, bemerkte kaum jemand, wenn z.B. eine angeblich aus dem 9. Jahrhundert stammende Urkunde eines Erzbischofs Siegel und Schriftzüge besaß, die erst im 12. Jahrhundert möglich waren. Natürlich sind Fälschungen Verfälschungen, d.h. echte Urkunden wurden durch verfälschte Bestimmungen abgeändert. Dies konnte sowohl durch positive als auch durch negative Interpolation geschehen. Bei der positiven Interpolation wurden vorhandene Sätze oder Satzteile erweitert oder ganz neue in die Urkunden eingefügt, bei der negativen Interpolation Sätze oder Satzteile fortgelassen. Aktuell wird der Prozentsatz aller gefälschter Urkunden von der Gesamtheit der mittelalterlichen Urkunden auf 15-20% geschätzt. Weiterhin ist festzustellen, dass die Fälsfikation von Urkunden im Mittelalter besonders stark in der Zeit ca. vom 10. bis zum 13. Jahrhundert betrieben wurde. Auch von den erhaltenen angeblichen Urkunden aus der Merowingerzeit sind mindestens 50% falsifiziert. Es gilt festzuhalten, dass die Gruppe der Teilfälschungen im Gesamthintergrund größer ist als die Gruppe der völligen Urkundenfälschungen.

Um den Kontrast zwischen mittelalterlichen und modernen Fälschungen zu verdeutlichen, versuchten wir, uns auch Kategorien für neuzeitliche Fälschungen zu erschließen. Wir stellten fest, dass man heutzutage Fälschungen nur nach den Aspekten „Recht“ und „Moral“ differenzieren kann (und braucht). Da man bei der Quellenkritik vom diplomatischen Fälschungsbegriff ausgeht (Diplomatik = Urkundenlehre), wird nicht gefragt, ob das, was die Quellen aussagen, historische „Wahrheit“ ist. Die diplomatische Fragestellung hinterfragt stattdessen, ob die Quellen das sind, wofür sie sich ausgeben. In anderen Worten heißt das: Geben z.B. Urkunden nach Datum und Inhalt die Begierde des Ausstellers wieder? Urkunden können nämlich echt sein und doch Falsches aussagen. Das sind dann inhaltliche, aber keine diplomatischen Fälschungen. Umgekehrt können Urkunden diplomatisch falsifiziert, aber inhaltlich völlig korrekt sein. Daraus lässt sich ableiten, dass es formale und inhaltliche Fälsfikationen gibt: Eine formale Fälschung liegt immer dann vor, wenn z.B. eine Urkunde sich nach der Intention des Herstellers als etwas anderes ausgibt, als sie de facto ist. Somit ist jede Fälschung eine formale Fälschung. Eine inhaltliche Fälschung liegt nur dann vor, wenn die Fälschung fassbare Elemente größeren oder geringeren Ausmaßes enthält, für die keine Absichtserklärung des angeblichen Ausstellers vorliegt oder vorgelegen hat. Ist z.B. eine Quelle als Fälschung enttarnt, so sind folgende zwei Fragen zu beantworten: Wann ist die Fälschung erfolgt? Was wird mit ihr angestrebt? Nach der Beantwortung dieser beiden Fragen kann die Fälschung ebenfalls als historische Quelle verwendet werden. Ein Unterschied bzgl. der Wertigkeit als historische Quelle existiert also zwischen echter und gefälschter Quelle nicht,

aber ihre Nutzbarmachung kann nur für den temporalen und sachlichen Zusammenhang erfolgen, in den sie de facto gehört.

## 6.12 Periodisierung

Johannes Bulle  
Betreuerin: Anna Burgdorf

### *Achsenzeiten, Sattelzeiten, Dark Ages und Floating Gap*

Die Epocheneinteilung in der heutigen Geschichtswissenschaft ist auf den ersten Blick eindeutig: Antike - Mittelalter - Neuzeit. Diese omnipräsente Trinität wurde zwar im Laufe der Jahrhunderte hinweg in Zügen modifiziert und spezifiziert, um es an den jeweils aktuellen Stand der Forschung anzupassen, jedoch in ihrer Kernsubstanz nicht in Frage gestellt. Seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert begannen Historiker erstmals, diese Gliederungsschemata zu hinterfragen und stießen damals wie heute auf immer neue Möglichkeiten, Geschichte „einzuteilen“. Dass dies keine Sisyphos-Arbeit darstellt, die nur um ihrer selbst Willen betrieben wird und zu keinen in der Praxis nutzbaren Erkenntnissen gelangt, kristallisierte sich für uns immer mehr heraus. Denn die Frage nach Epochen ist nicht nur eine Frage von Zeiträumen und ihren Zusammenhängen, sondern sie berührt auch das subjektive Geschichtsverständnis des Historikers wie kaum eine andere Problemstellung: Als Zusammenfassung von strukturellen Forschungsergebnissen sagt sie vieles über die Wertevorstellungen des Historikers, seiner (Fach-)Umwelt, aber auch der der gesamten Gesellschaft, in der er lebt, aus, was z.B. bei der Frage nach dem „Dritten Reich“ durchaus politische Brisanz erfährt. Eben durch die Subjektivität der Einteilungen eröffnet sich ein unermesslich großes Feld an Möglichkeiten zur konstruktiven Debatte, die aufgrund der Vielzahl zu beachtender Aspekte und Fragestellungen in ihrer Komplexität ihres gleichen sucht und damit alles andere als „verstaubte“ akademische Selbststudie ist. Periodisierung berührt unser geschichtliches Selbstverständnis wie kaum ein anderes Thema und verdient dadurch auch einen gesteigerten Stellenwert in unserer heutigen Geschichtswissenschaft und letztlich auch in unserer Gesellschaft.

Jenseits der „klassischen“ haben wir uns in dieser Sitzung denn auch mit einigen der bedeutendsten alternativen Periodisierungskonzepte beschäftigt:

1. Mit der *Sattelzeit* bezeichnet Reinhart Koselleck den Zeitraum von ca. 1750-1850 als Zeit der „historischen Transformationsphase“. Ausgehend von Beobachtungen im Bereich der Begriffsgeschichte ermittelte er in diesem Zeitraum einen entscheidenden Paradigmenwechsel von Begriffen sowie deren assoziierten (subjektiven) „Inhalten“ und Deutungen und folgerte daraus, dass sich in der bezeichneten Zeitspanne bedeutsame strukturelle, gesamtgesellschaftliche und somit historische Veränderungsprozesse ereigneten, die den Eintritt in das moderne Zeitalter implizierten. An Beispielen wie den sich formierenden demokratisch geprägten Staaten Europas (wie Frankreich und England) und der ersten verfassungsrechtlich garantierten Zusage von Menschen- und Bürgerrechten sucht er, kulturellen Wandel und veränderte politische Strukturen nachzuweisen, die wiederum in entscheidendem Maße Einfluss auf die Mentalitäten der Menschen und deren soziales Selbstverständnis hatten. Wichtig ist zu betonen, dass die Sattelzeit keinen Phasencharakter haben muss, sondern die Epochendefinition von einem bestimmten, als Höhepunkt des Sattels betrachteten Ereignis ausgeht, auf das sich die anderen Ereignisse mehr oder weniger beziehen, wodurch auch ihr Punkt auf dem Sattel fest gelegt wird (weiter weg oder näher dran am „Ausgangsereignis“).

2. Der Philosoph Karl Jaspers rief mit seiner Publikation „Vom Ursprung und Ziel der Geschichte“ (1949) eine hitzige Debatte um das Thema Periodisierung hervor, deren Ende aus heutiger Sicht noch nicht absehbar ist. In seiner Abhandlung prägte er den Begriff der Achsenzeit als Zeitalter von Entwicklungen, die jenseits von nationalen und Kulturkreisgrenzen (mit kleineren Abweichungen) frappierende Ähnlichkeiten aufweisen (es sei „für alle Völker ein gemeinsamer Rahmen geschichtlichen Selbstverständnisses erwachsen [...] Es entstand der Mensch, mit dem wir bis heute leben“). Ausgehend von den thematischen Hauptfeldern Ethik, Philosophie und Technik beschreibt er historische Veränderungsprozesse, die sich im Zeitraum von etwa 800-200 v. Chr. in allen Kulturen des Orients und Okzidents ereignet hätten. Besonderen Stellenwert nimmt dabei das Aufkommen natur- und geisteswissenschaftlicher Arbeits- und Forschungsweisen ein, das er als besonders kohärent zur heutigen, modernen Welt und deren Vorstellungswelten einschätzt (Mythos vs. Logos).
3. Unter dem Sammelbegriff *Dark Ages* versteht man in der Geschichtswissenschaft die geographisch variierende Zeitspanne innerhalb der Historie eines Landes oder einer Region, deren historische Rekonstruktion durch Fehlen von archäologischen Überresten und besonders durch mangelnde Überlieferung von Schriftquellen deutlich erschwert wird.
4. Das Periodisierungskonzept der *Floating Gap* weist dazu eine Vielzahl von Übereinstimmungen auf. Jan Assmann beschreibt damit die „fließende Lücke“ einer Übergangs- und Transformationszeit von *kulturellem* sowie *kommunikativem Gedächtnis*, in die sich die historische Erinnerung einer Gesellschaft aufteile: Als *kulturelles Gedächtnis* umschreibt er alle „Erinnerungsfiguren“ oder Vorstellungen über die Ursprungszeit des jeweiligen Kulturkreises im Speziellen sowie über die Entstehung der (supranationalen) Welt generell. Diese Erinnerungen werden ihm folgend durch bestimmte, nicht-alltägliche Rituale mit mythisch-sakralem Charakter von Generation zu Generation weitergegeben und erfahren als solche höchstens in ihrer Quantität Modifikationen, jedoch nicht in ihrer grundlegenden, bedeutungsgebenden Aussageebene. Als *kommunikatives Gedächtnis* beschreibt Assmann alle diejenigen subjektiv empfundenen „Erinnerungsfiguren“, die im Laufe eines als solches wahrgenommenen Lebens in Form von „Zeitzeugenhistorie“ gesammelt und mit dem eigenen persönlichen Umfeld kommunikativ ausgetauscht oder „besprochen“ wurden. Auf Grund des dadurch eingeschränkten historischen Zeitraums des kommunikativen Gedächtnisses leitet er die Notwendigkeit einer nicht wahrgenommenen, aber dennoch existenten Übergangszeit der beiden Formen historischen Bewusstseins ab, durch den die Transformation von *kommunikativem* Gedächtnis hin zu *kulturellem* Gedächtnis durch unbewusste Selektion und damit einhergehende Interpretation der (in diesem Zusammenhang als „objektiv“ zu bezeichnenden) historischen „Fakten“ erfolge.

### 6.13 Authentizität

Peter Gorzolla

Grundlage dieser Sitzung war ein Text der besonderen Art: der Kinofilm *Königreich der Himmel* (2005, Regie: Ridley Scott). Ausgehend von der Prämisse, dass Film und Fernsehen schon seit langem die primäre Sozialisationsinstanz für historische Vorbildung darstellen, galt es, das in solchen Medien vermittelte Geschichtsbild an einem Exempel eingehender unter die Lupe zu nehmen - noch mehr aber ging es darum, die Verfahren und Strukturen der Produktion solcher Filme und ihrer Geschichtsbilder zu verstehen. Zu diesem Zweck wurden die Teilnehmer in der Vorbereitung auf die Akademie mit dem irreführenden Arbeitsauftrag konfrontiert, die „Korrektheit“ der historischen Darstellung in

Scotts Film zu analysieren.

Sehr schnell stellte sich in der Sitzung heraus, dass der Begriff „korrekt“ jedoch verführerische semantische Implikationen besitzt, welche Vorurteile geradezu herausfordern. Stattdessen erwies es sich als sinnvoller, mit dem Begriffspaar „akkurat“ und „authentisch“ zu arbeiten: Während viele Aspekte in Königreich der Himmel zwar nicht den Ansprüchen historischer Genauigkeit entsprechen, sind einige dieser Verstöße gegen die Akkuratessse jedoch Produkte einer Transformation historischer Sinnzusammenhänge in eine dem heutigen Zuschauer verständliche (Bild-)Sprache. Damit vermitteln gerade diese Szenen dem Laien ein authentischeres Bild der historischen Verhältnisse, als es deren akkurate Darstellung vermag.

Hollywood mag also manchmal näher an der „Wahrheit“ dran sein, als man denkt, dennoch ist allen Historienfilmen als Vermittler von Geschichtsbildern mit äußerster Vorsicht zu begegnen. Das Medium hat nämlich seine eigenen Gesetzmäßigkeiten, und diese stehen im Zweifelsfall immer über dem Wunsch nach Authentizität - wenn sie diesen nicht ohnehin konterkarieren. Im Scotts Kreuzzugsdrama ist es die für das Mittelalter vollkommen ahistorische Botschaft von Toleranz und „Ritterlichkeit“ (wohl-gemerkt im Sinne eines Ideals des 19. Jahrhunderts), die vom Regisseur bewusst in das historische Szenario implantiert wurde - und zwar als Kommentar zum Irak-Krieg, nicht zu den Kreuzzügen des Mittelalters.

## 6.14 Kulturkontakte

Yorck Kessler  
Betreuer: Volker Kehl

### *Kreuzzug als ultimativer Kulturkontakt*

Im Mittelpunkt dieser Sitzung standen Texte der Autoren Nikolas Jaspert, Peter Thorau und Amin Maalouf. Jaspert und Thorau lehren an deutschen Universitäten mittelalterliche Geschichte mit den lokalen Schwerpunkten im Orient und auf der iberischen Halbinsel, beide verfassten Sachbücher über die Kreuzzüge. Maalouf ist ein französisch-libanesischer Buchautor, studierter Soziologe und Verfasser eines Sachbuchs über die Kreuzzüge aus arabischer Sicht. Drei Gruppen des Kurses vertraten in einer Diskussion über Kulturkontakte je die Position eines der Autoren.

Jaspert vertritt die Position, dass es durch die Kreuzzüge zu einem konkret belegbaren Austausch zwischen christlicher und islamischer Welt kam, der sich vor allem in technologischen und wissenschaftlichen Aspekten niederschlägt. Auch gegenseitige Ansichten wurden ausgetauscht. Das führte zur Einigung Westeuropas („Selbsterfindung Europas“) im Gegensatz zur Andersartigkeit des Orients. Jener Austausch lief vor den Kreuzzügen vornehmlich über das „arabische Europa“, die Enklaven in Sizilien und Spanien. Später kamen dann noch die Kreuzfahrerstaaten (Königreich Jerusalem, Fürstentum Antiochia, Grafschaft Edessa, Grafschaft Tripolis) hinzu.

Thoraus Position ähnelt der Jasperts in Bezug auf die Existenz von Austauschprozessen. Jedoch war laut Thorau der Austausch ein aktives „Aufeinander zugehen“ (nach Jaspert eher passiv und aus Handelskontakten entstanden). Thorau erklärt weiterhin, dass die Kreuzzüge zur Säkularisierung Europas (die Kirche war mit den Kreuzzügen letzten Endes gescheitert und konnte das Heilige Land nicht halten) und einer religiösen Einigung der arabischen Welt (Religion war die Triebfeder der Einigung der Muslime gegen die Christen) beitrugen. Zum Religionsgedanken gehört auch noch, dass die Araber mit dem Dschihad als Gegenmodell zum Kreuzzugsgedanken den Kreuzzug zu einem interreligiösen Konflikt machten.

Maalouf stellt im Gegensatz zu den anderen beiden Autoren nicht den Kulturaustausch in den Vordergrund. In seinem Buch „Der Heilige Krieg der Barbaren“ beschreibt er, dass der Schock der arabischen

Welt jegliche Austauschgedanken verdrängt. Auch die Flucht in die Religion, in den Gedanken des Dschihad, wird beschrieben. Dies führte seiner Meinung nach zu einem erweiterten Konfrontationskurs mit den Europäern, da nun zwei Religionen „aufeinanderprallten“. Die von ihm beschriebene Position der Araber, die die Europäer aus kultureller Überlegenheit heraus als Barbaren ansahen, wird auch von arabischen Chronisten bestätigt, die die Europäer als „dumm“, „schroff“, „rau“ oder „primitiv“ skizzieren.

Ein weiterer wichtiger Gedanke, auch in der Diskussion, ist die Gewalt während der Kreuzzüge. So meint Jaspert, dass die Kreuzzüge aus einer bereits gewalttätigen Welt hervorgingen und somit nicht Ursprung oder Quelle von Gewalt waren. Ein weiterer Diskussionspunkt war, dass die Kreuzzüge ein bis heute gegenwärtiges kollektives Trauma in der arabischen Welt hinterließen. Auch wurden die Araber von den Europäern gedemütigt, was in gegenseitigem Hass resultierte. Das Trauma ist bis heute auf beiden Seiten in Form von Kreuzzugsanalogien spürbar: arabische Dschihadisten, die die Amerikaner als „Kreuzritter“ bezeichnen, die TV-Untertitelung amerikanischer Interventionen im Mittleren Osten als „Kreuzzüge“ usw.

Krieg und Kulturaustausch wurden im Fortschritt der Diskussion miteinander in Verbindung gebracht, da Krieg auch eines der Medien des gegenseitigen kulturellen Austausches ist, was man auch bei den Kreuzzügen finden kann. So profitierten besonders die Araber, aber auch die Europäer pragmatisch vom militärischen Wissen des jeweiligen Gegners. Auch der Handel ist ein Medium des Austausches: So profitierten die Seerepubliken Italiens vom Handel mit den Arabern, indem sie Wissen über Kartographie, Astronomie oder Handelswesen erwarben. Womit wir in der Diskussion bei der Frage nach den Profiteuren des Austauschs ankamen: Welche Seite hatte am meisten von den Kreuzzügen profitiert? Die Europäer verdanken den Arabern, insbesondere den Mauren auf der iberischen Halbinsel, viele Errungenschaften in den Naturwissenschaften sowie auf dem Bereich der Landwirtschaft. Auch bedeutende Literatur, der maurische Stil der Architektur oder der vom Orient geprägte Kreuzfahrerstil der Kunst kamen so zu uns. Ein weiterer wichtiger Aspekt des Austausches ist die „Frontier-Erfahrung“ oder auch Entfremdung der Kreuzritter. Diese sind auf dem Weg ins Heilige Land mehrere Jahre von ihrer Heimat entfernt. Außer der Sprache und der Religion verbindet sie kaum etwas mehr mit ihrem Zuhause. Viele Kreuzfahrer haben ihr Lehen in der Heimat verpfändet und hoffen, im Heiligen Land ein neues Lehen zur Belohnung zu erhalten. Dieser Gedanke des physischen und mentalen Entfernens von der Heimat lässt die Kreuzfahrer viel offener für neues sein, was auch den Austausch nur befördert haben kann.

Das Ende der Diskussion musste offen bleiben, da über zu viele Aspekte diskutiert wurde, um letztlich zu klaren Schlüssen zu kommen. Aber das ist bei diesem Thema vielleicht auch nicht überraschend.

## 6.15 Fortschrittsparadigma

Anna Burgdorf

### *Die Langlebigkeit des evolutionär-positivistischen Fortschrittsparadigmas*

Grundlegende Texte dieser Sitzung waren „The Whig Interpretation of History“ von Herbert Butterfield und die von Bengt Ankarloo und Stuart Clark verfasste Einleitung zu einem Lehrbuch über Magie im Mittelalter.

Das positivistisch-evolutionistische Fortschrittsparadigma ist eine Konstruktion aus historischer, anthropologischer und ethnologischer Forschung. Es entstand im späten 19. und wurde im 20. Jahrhundert weiter ausformuliert. Sein Ursprung liegt allerdings schon weiter zurück, sodass Leopold von Ranke bereits im 19. Jahrhundert Kritik an einem positivistisch-evolutionistischen Denken vieler Historiker

geübt hat. Aber was macht diese Vorstellung nun aus?

Das Beispiel, das wir hinzu gezogen haben, um diese Frage zu beantworten, ist die Magiegeschichte. Magie wurde lange in Abgrenzung zu anderen Kategorien definiert: als Nicht-Religion oder als Nicht-Wissenschaft. Dieser Art der Abgrenzung war primitive Ausgangsbasis eines evolutionistischen Modells sozialer Entwicklungsstufen. Auf seiner untersten Stufe steht ein Weltbild, das durch die Magie geprägt ist. Dieses wird durch das, eine Stufe höher stehende, christlich geprägte Weltbild übertroffen. Die höchste Stufe des Modells bildet schließlich das wissenschaftliche Weltbild. Aus diesem Denken heraus wird die Magie wiederum in Abgrenzung zu den Normen des jeweiligen Weltbildes charakterisiert: Manipulativ gegenüber der Religion, unsystematisch, inkohärent und irrational gegenüber der Wissenschaft. (Zu Recht wurde an dieser Stelle in der Sitzung die Frage gestellt, welche Stufe, ausgehend von dieser Denkart, die Welt wohl als nächstes erreichen würde.)

Diese Denkart ist im allgemeinen Weltbild der gebildeten Öffentlichkeit leider fest verankert. Warum gab und gibt es sie aber bis heute auch unter Historikern? Forschungsgeschichtlich weist das Konstrukt des Fortschrittsparadigmas einige Vorteile auf. Es führt zu schnellen und eindeutigen Erklärungen für zuvor unverständliche Entwicklungen und zeigt somit klare Linien in der Geschichte der Magie und des Aberglaubens in Mittelalter auf. Feinere historische Strukturen und Einzelfälle konnten und können damit nicht erklärt werden, deshalb gibt es auch praktisch seit dem Aufkommen des Paradigmas Versuche, es zu überwinden. So ist das Paradigma heute im engeren Bereich der Magie- und Aberglaubensforschung zurückgedrängt, besteht aber weiterhin darüber hinaus.

In der Sitzung zum Thema wurde schnell klar, dass dieses Konstrukt nicht mit dem kritischen Bewusstsein zu vereinbaren ist, das jeden Historiker bei seiner Arbeit leiten sollte. Ein historisches Ereignis oder die Entwicklung einer Wertvorstellung in ein zuvor erstelltes Schema zu pressen, ist vielleicht ein (forschungs-)historischer Vorgang, entspricht aber modernen methodischen Ansprüchen nicht. Zu deutlich wird, dass die Geschichte hierbei auf extreme Weise in Anbindung an die eigene, kulturhistorisch gebundene Perspektive des Historikers geordnet und bewertet wird - in der Tat ein „Richten der Vergangenheit“.

## 6.16 Identität und Exklusion

Peter Gorzolla

Unsere letzte thematische Sitzung stellte insofern eine Besonderheit dar, als sie nicht dem üblichen Ablauf der Sitzungsgestaltung (vom jeweiligen Sitzungsexperten angeleitete Zusammenfassung, Textarbeit in Plenum oder Arbeitsgruppen, Diskussion und ggfs. Übungsteil) entsprach, sondern in der klassisch akademischen Form von Vortrag plus Kolloquium gestaltet war.

Der Vortrag beleuchtete anhand des Beispiels der den norditalienischen „Lombarden“ im Spätmittelalter von Franzosen zugeschriebenen Affinität zur Zauberei die sozialen und ideengeschichtlichen Hintergründe xenophober Exklusionsmechanismen, derer sich eine Gemeinschaft unter bestimmten Umständen bedient, um eine gefährdete gesellschaftliche Kohärenz wiederherzustellen - oder überhaupt erst neu zu schaffen. Für das gewählte Exempel geschah dies als Übertragung stereotyper Charakteristika aus einem bekannten, dichotomisch verstandenen „Wir vs. die Anderen“ zwischen christlichem Abendland und nicht-christlichem (genauer: muslimischem) Orient auf den neuen Prozess proto-nationaler Ausdifferenzierung innerhalb der christlichen Welt.

## 6.17 Abschließende Sitzung

Peter Gorzolla

*Was haben wir eigentlich gelernt?*

Nachdem das Kursteam eine eigene und eigenwillige Rekapitulation der in diesem Kurs erfahrenen De-konstruktionen, Destabilisierungen - ja, eher Wissensverlusten denn Wissensgewinnen - vornahm, lag es an den Teilnehmern, dieser Provokation konstruktiv zu begegnen. In teilweise heftigen Diskussionen einigte sich das Plenum auf folgende Aspekte als zentrale Lernerfolge des Geschichtskurses:

Grundlegende Kompetenz des Historikers ist die Fähigkeit zum kritischen Hinterfragen - „selbst denken, nicht glauben!“ Hinterfragt werden sollte eigentlich alles: Quellen, Autoritäten, Motive, Überlieferungen und nicht zuletzt auch die eigene Person, da das Vergegenwärtigen der eigenen Subjektivität notwendig ist. Beschreiben statt Werten sollte der Historiker und dabei stets offen bleiben für die Alterität seines Untersuchungsfelds. Um den oft widersprüchlichen Anforderungen von „Wahrheit“ und „Echtheit“ zu genügen, darf er sich nicht in akkurater Rekonstruktion der Vergangenheit ergeben, sondern muss sich vor allem um ein authentisches Geschichtsbild bemühen. Hierbei kann ihm die Phantasie durchaus nützlich sein, sofern sie nicht grenzenlos wird. Und, ja: Grenzen sind in der Tat ein geeigneter Ausgangspunkt für das historische Arbeiten.

## 7 Kursübergreifende Angebote

Das kursübergreifende Angebot enthielt bei der Schülerakademie 2011 Chor, Kontratanz, Instrumentalmusik, Englisch Theater, Bühnenbild, Sport, Fürstenecker Überraschungs-Ei, Yoga, Naturkunde, Rhythmus muss!, Jazzdance, Italienisch, Spieltheorie und Akademiezeitung. Einige dieser Aktivitäten waren schon in der Ausschreibung enthalten, die übrigen ergaben sich durch Angebote während des Vorbereitungsseminars.

### 7.1 Chor

Leitung: Ingrid Baumann-Metzler und Wolfgang Metzler  
Bericht: Miriam Müller und Dennis Bepler

An den ersten zwei Tagen wurde gemeinsam im Plenum gesungen, was einen leichten und allmählichen Einstieg ermöglichte. Anschließend legte der Studiochor auch in diesem Jahr wieder mit Elan los, obwohl er mit sechs Leuten etwas unterbesetzt war. Auf dem Programm stand zunächst „Wade in the Water“, ein einstimmiges Stück. Danach wurde sich schnell auch an komplizierte Werke gewagt, wie etwa Leonard Cohens „Halleluja“ oder auch an „Tears in Heaven“ von Eric Clapton. Doch auch die klassische Musik kam nicht zu kurz, denn die Chorleitung brachte ein vielfältiges Angebot mit; u.a. auch einen „Irishen Segen“, der mehrstimmig zum Besten gegeben wurde. Neben der Anzahl der Stimmen war der Chor auch im Bezug auf die Instrumentalbegleitung flexibel. Ein Stück, der „König von Thule“, wurde z.B. mit Cembalo und Altflöte begleitet.

### 7.2 Kontratanz

Leitung und Bericht: Saskia Quené

Vormittags fand sich in der Halle, oder bei gutem Wetter auch draußen auf der Burgwiese, die Kontratanz-KüA zusammen. Nachdem die ca. vier Paare sich mit den verschiedenen Formationen wie „Gasse“, „Dreisatz“ und „Carré“ vertraut gemacht hatten, wurde versucht dem schwingenden Kontratanzschritt etwas näher zu kommen. Währenddessen wurde das Tanzen von Figuren wie „Hecke“, „Acht“, „Streifen“ oder „Armen“ immer selbstverständlicher, und bekamen wir einen immer besseren Einblick in die verschiedenen geometrischen Eigenschaften der Tanzfiguren. Dabei half auch das eigenständige Entziffern einer Tanzbeschreibung. Im Laufe der zweiten Woche schafften wir es, den Blick endgültig vom Boden zu lösen, was uns das Tanzen mit einander, d.h. das Tanzen in Kontakt zum Partner oder Kontrapartner ermöglichte.

Das Repertoire der Tänzer umfaßte am Ende der Woche die Tänze „Blaue Bohnen“, „Gerstensaft“, „Edelsteine“, „Auf abendländischen Bahnhöfen“, „Indische Königin“, „Ruhig Blut“, „Schwarze Kunst“ und „Newcastle“.

Wir danken Sonja Kruse sowie der KüA Kammermusik für die tanzmusikalische Unterstützung!

### 7.3 Instrumentalmusik

Leitung und Bericht: Saskia Quené

Dass aus einer doch relativ wilden Besetzung und vielen unterschiedlichen Niveaus am Ende so viel schöne Musik entstanden ist, hätte zu Beginn der Akademie wohl keiner geglaubt. Eine Klarinettestistin (Julia Zaenker), eine Altblockflötistin (Miriam Müller), zwei Geigen (Simon Bodenschatz und Alina

Braun), eine Bratsche (Sonja Kruse) und ein Cellist (Johannes Bulle) fanden sich innerhalb von wenigen Tagen zu einem klingenden Ensemble zusammen. In voller Besetzung machten wir uns mit der Musik John Dowlands vertraut. Hauptaufgaben waren, uns beim Spielen über verschiedene Tempovorstellungen einig zu werden, sowie einen stimmigen Gesamtklang zu entwickeln.

In kleineren Besetzungen probten wir Joseph Haydns Divertimento Nr. 1 für Flöte, Geige und Cello, Johann Pachelbels Kanon für drei Violinen und Basso Continuo, wobei die Stimme der ersten Geige problemlos von Johannes Bulle auf dem Cello übernommen werden konnte.

In der zweiten Woche widmeten wir uns verstärkt der Tanzmusik, mehrstimmige Sätze sollten sowohl rhythmisch exakt als auch von improvisatorischen Elementen bereichert am Abschlußabend die Kontraktänzer unterstützen. Gemeinsam wurden die Tänze „Gerstensaft“, „Newcastle“ und „Schwarze Kunst“ erarbeitet, wobei sich vor allem die Klarinette als ausgezeichnetes Tanzmusikinstrument erwies!

## 7.4 Englisch Theater

Leitung: Ingrid Baumann-Metzler

Bericht: Samira Hooock, Alexandra Walter

This year's story of „The Canterville Ghost“ is the product of a lively development in which all members of the theatre group participated: Everyone was highly engaged to the project and willing to rehearse scenes a hundred times aiming for perfection. Fortunately, we had not only a lovely script that we were allowed to change according to our visions, but also the indispensable support of the Scenery Painting Group who fulfilled every wish for paper hearts, castle paintings and skeletons. And - last but not least - we were lucky finding the costumes we needed in the winding corners of the Great Hall's attic.

Finally our idea took shape: The rich Otis family moves from America to Canterville Castle in England, although they have heard of a ghost haunting the place. Apparently, the ghost really exists, suffering from having killed his wife in 1575. This murder left a bloodstain on the floor that had been irremovable since then. While the staff is frightened to death, the Americans mostly laugh about the ghost - except for Virginia. The Otis's daughter is willing to help the ghost find his peace at last...

### *Actors*

Narrator:	Yorck Kessler		
Narrator's Friend:	Daniel Grohé	<i>Scenery Paintings</i>	<i>Stage Manager</i>
Mr. Otis:	Philipp Risius	Christoph Bläser	Alexandra Walter
Mrs. Otis:	Samira Hooock	Nadin Sarajlic	
Virginia Otis:	Franziska Schydlo	Frederik Mankel	<i>Light</i>
Anna Otis:	Johanna Leyhe	Birthe Anne Wiegand	Fabian Angeloni
Hannah Otis:	Saskia Helena Schomber		
Mrs. Umney:	Jessica Hedderich	<i>Plot and Direction</i>	
Hoskins:	Sebastian Gallus	Ingrid Baumann-Metzler	
Ghost:	Gregor Angeloni		
Cecil:	Daniel Grohé		

## 7.5 Bühnenbild

Leitung: Birthe Anne Wiegand

Bericht: Nadin Sarajlic

Wie schon in den vergangenen Jahren wurde auch diesmal in der küA „Bühnenbild“ die Kulisse für das Englische Theaterstück erstellt. Dabei stand neben dem Malen auf große Leinwände auch viel basteln auf dem Programm - eine Horror-Vogelscheuche, einen Kamin mitsamt (fast) echtem Feuer, diverse

Blutflecken, Herzgirlanden und vieles mehr. Dem Stück entsprechend („The Ghost of Canterville“) waren alle Requisiten eher im düsteren Stil gehalten auf den Bildern war der Hintergrund meist schwarz, und von Blitzen durchbrochen. Besonderen Spaß hatten wir alle daran, die Vogelscheuche so gruselig wie möglich zu gestalten.

Trotz des mittlerweile schon vertrauten Zeitdrucks und einiger daraus resultierender Nachtschichten hatten wir alle viel Freude an der Kunst und sich auch mit dem Ergebnis sehr zufrieden.

## 7.6 Sport

Leitung und Bericht: Anna Lisa Eckes, Katharina Weislogel, Mathias Wagenhoff

Frei nach dem Motto *Spiel, Spaß und Sport* veranstalteten wir die kursübergreifenden Aktivität Sport während der HSAKA. In dieser küA wurde den Schülern die Möglichkeit gegeben, sich von dem straffen Zeitplan physisch auszuholen und mental zu erholen. Wir betrieben Mannschaftssportarten wie Fußball und Ultimate-Frisbee. Der nahe gelegene Sportplatz bot ein ideales Setting für unsere sportlichen Aktivitäten. Wir förderten den Gemeinschaftssinn und legten viel Wert auf Teamgeistbildung. Vor allem bei den Mannschaftssportarten sollte die Idee eines FairPlays vermittelt und soziale Kompetenzen erworben werden. Das Sportangebot wurde durch Ausdauerläufe, Sprints und Zirkeltraining um die Burg erweitert.



An dem einen oder anderen Tag mussten wir unsere küA nach Drinnen verlegen, weil das Wetter nichts als Regen vorbeischickte. Wir spannten eine Slackline auf, um den Schülern ein Angebot zum Trainieren ihres Gleichgewichtssinns und ihrer koordinativen Fähigkeiten zu geben. Die Schüler waren motiviert, die verschiedenen Sportarten auszuprobieren, sich körperlich zu erproben und gemeinsam zu „sporteln“.

Mitte der zweiten Akademiewoche traten erste Ermüdungserscheinungen auf.

Muskelkater, kleinere Blessuren und Wehwehchen hielten uns jedoch nicht vom aktiven Sporttreiben ab - denn „nur die Harten kommen in den Garten“!

Im Sportteam hatten wir viel Spaß und konnten neue Energien für den weiteren Tagesablauf der Schülerakademie sammeln.



## 7.7 Fürstenecker Überraschungs-Ei

Leitung: Katja Alt, Saskia Wiesner, Anna Burgdorf  
Bericht: Katja Alt

*...oder auch: „Die Verifikation naturwissenschaftlicher Gesetze“*

Ein fester Bestandteil dieser KüA war es, einen kreativen Ausgleich zu den Kursinhalten zu bieten und vor allem Spaß dabei zu haben.

Trotz dieses relativ offenen Konzepts fanden sich dennoch drei todesmutige Akademieteilnehmer, die sich darauf einlassen wollten. Bereits in der ersten KüA-Zeit zeigte sich, dass diese drei wackeren Gestalten genau richtig gewählt hatten.

Ihre eigene Ideen und Vorschläge sollten ernst genommen werden, um mit ihnen auch Angebote für die anderen Teilnehmer zu schaffen - zum Beispiel ein kurzes abendliches Planspiel, bei dem die Zutaten für ein Zauberritual zur Heilung des Königs erspielt werden mussten.

Innerhalb der ersten eineinhalb Stunden, die wir zusammen verbrachten, entstand bereits das Konzept für ein komplexes, akademieweites Strategieplanspiel, in dem Gruppen sich mittels eines geheimen Codeworts finden oder enttarnen konnten.

*(Das Gesetz der Gruppendynamik von Kirschflöten)*

In den darauffolgenden Tagen stellten wir das Teamspiel „Schwedenschach“ her. Holz musste gesägt und geschliffen, Spielfiguren angemalt und die Regeln verstanden werden. Während der restlichen Akademie wurde dieses Spiel neben den KüA-Mitgliedern auch sehr gerne von den anderen Teilnehmern gespielt.

*(Das Gesetz der Geometrie von Königskronen)*

In einem großen Wettbewerb unter den Teilnehmern wurden dann die Gesetze der Physik an Eiern ausprobiert. Flugmaschinen - bzw. Fallsicherungen - für rohe Eier wurden konstruiert, um diese bei einem Aufprall aus dem zweiten Stock zu schützen. Dabei entstanden von kreativ-primitiven Pappgebilden über Sandpolsterungen bis hin zu hochtechnisierten Fallschirmkonstruktionen gänzlich verschiedene Ideen.

*(Das Gesetz der Fallgeschwindigkeit von Serviettenfallschirmen und Rührei)*

Unsere KüA beherbergte auch regelmäßig einige Gäste aus den Reihen der Dozenten oder Betreuer, so zum Beispiel auch während der veranstalteten Schnitzeljagd durch die Felder und Wälder rund um die Burg.

*(Das Gesetz von der Trägheit der Masse bei großer Hitze)*

Als Abschluss der KüA nutzten wir eine Sonnenphase für eine Abschluss-Wasserbombenschlacht.

*(Das Gesetz des Zusammenhangs zwischen der Aufprallgeschwindigkeit und der Wasserausschüttung)*

## 7.8 Yoga

Leitung: Beate Schimko

Bericht: Johannes Bulle, Johanna Leyhe, Jessica Hedderich

Friedensbewegte, Räucherstäbchen, alte Männer mit weißen Rauschebärten und sinnloses Faulenzen - das ist Yoga?! Falsch! Denn hinter Yoga verbirgt sich eine der mental und physisch intensivsten fernöstlichen Übungsformen. Was wie platte Werbesprüche aus einem billigen New-Age-Werbespot klingen mag, haben wir tatsächlich selbst am eigenen Leibe erfahren dürfen: „die Kobra“, „das Kamel“ und schließlich die Königin aller kraftvollen Yoga-Dehnübungen: „das Boot“. Speziell im Hinblick auf die fordernde geistige Arbeit in den verschiedenen Kursen bot uns diese nachhaltige KüA die Gelegenheit, vom regen Alltagsgeschehen der Burg einmal abzuschalten und uns selbst auf eine neue Art kennenzulernen. Dass die Auseinandersetzung mit unserem eigenen Stressverhalten auch viel Übung

und Konzentration erfordert, ist uns bewusst geworden. Dafür danken wir insbesondere unserer Mentorin und hoffen, dass nach uns noch weitere Generationen von motivierten Schülern in den Genuss des Abschaltens und sich-selber-Wahrnehmens gelangen werden. Wir können dies nur empfehlen!

### 7.9 Naturkunde

Leitung: Wolfgang Aßmus, Alexander Dick

Bericht: Alexander Dick

Bei der Naturkunde waren wir in Feldern, Wald und Wiesen rund um die Burg unterwegs, um die schöne Landschaft zu genießen und Schmetterlinge mit dem Vornamen ansprechen zu können.



### 7.10 Rhythmus muss!

Leitung und Bericht: Volker Kehl

Es sprach sich schnell auf der Burg herum: Im Percussion Kurs wird heftig und mächtig gegroovt. Das Verlangen nach den Beats von den fünf Rhythmuszauberern war so groß, dass ihr Können auch interdisziplinär gefragt war.

Sie trommelten den Yoga Kurs in die Nähe der Trance, veredelten das englische Theaterstück mit donnernden Klanggeklapper, überzeugten im Instrumentalmusik-Kurs selbst den letzten Klassikpuristen von der treibenden Kraft der minimalistischen Perkussion und lieferten die Pro-Argumente für einen rhythmischen Unterbau beim Kontratanz.

Im Kurs, wieder unter sich, wurde an technischen Details gefeilt. Sticktechniken, Unabhängigkeitsübungen sowie rhythmische Aufwärmübungen waren Thema der zwei Wochen.

Ganz besonders widmeten wir uns dem Ausprobieren und der Improvisation. So machte es sich Hannes

zur Aufgabe, im Raum umher zu laufen, auf der Suche nach neuen Klanggebilden, um zum Beispiel mit seiner Schlüssel-trifft-Gong-Kombination zu überraschen. Mischa - der Mann für den kräftigen Puls - schlug wuchtig mit einem schweren Stoffhammer auf die Djembe. Davon angetrieben zauberten Leon und Martin genialisch einfache Rhythmuskaskaden aus ihren Trommeln. Abgerundet durch den Kursleiter Volker, der letzte Nuancen und knackige Breaks zum Sound hinzufügte, brachte das Quintett ganz Burg Fürsteneck zum Tanzen und Grooven!

### 7.11 Jazzdance

Leitung: Saskia Groh  
Bericht: Johanna Bube und Alina Braun

„Aufwärmen!“ tönt es uns von unserer motivierten Tanzlehrerin Saskia Groh entgegen, sobald wir den Webraum betreten. Denn ohne ausreichend aufgewärmte und gedehnte Muskeln „macht es Aua! Und das wollen wir ja nicht!“

Danach geht das richtige Training los. Die Choreographie, die wir über die zwei Wochen einstudieren, ist ein Traumtanz. Das gibt uns die Möglichkeit, unserer Phantasie freien Lauf zu lassen und fremde, uns unbekannte Welten zu betreten. So wurden nicht nur unsere tänzerischen, sondern auch unsere schauspielerischen Fähigkeiten gefordert. (Manche Leute legten ein überdurchschnittliches Talent beim Sterben an den Tag...)

Unsere tänzerische Traumreise beginnt mit dem Einschlafen. Kurz darauf erwachen wir als Agenten wieder. Nach einer kurzen Tanzeinlage, die mit einer tödlichen Schießerei endet, schlummern wir friedlich weiter. In der nächsten Szene finden wir uns in einem Alptraumszenario wieder. Die eine Hälfte der Tänzer verkörpert Puppenspieler, die die andere Hälfte als willenslose Marionetten an Fäden kontrolliert. Mit einem Schreckenschrei endet der dunkle Part der Vorstellung. Die Tänzer wachen auf, stellen fest, dass sie noch am Leben sind und schlafen kurz darauf wieder ein. Im dritten Traum kämpfen die Tänzer als Piraten zu der bekannten Filmmusik aus „Fluch der Karibik“. Wir lassen in unseren Träumen sogar Michael Jackson zum Leben erwecken.

Abschließend möchten wir unserer lieben Saskia für die zwei sehr schönen Wochen bedanken, in denen sie uns gezeigt hat, dass Tanzen tatsächlich „Träumen mit den Füßen“ (Achim Großer) bedeutet.

### 7.12 Italienisch

Leitung und Bericht: Fabian Angeloni

„Italien - das steht für Süden, Sommer, Sonne, Strand, mediterrane „Dolce Vita“ und eine der schönsten Sprachen dieser Erde.“ - das versprach die Kursankündigung. Und so begannen wir mit einfachen Sätzen, wie „Mi chiamo...“ („Ich heiße...“) oder „Abito a...“ („Ich komme aus...“), um dann auch längere Dialoge zu sprechen. Viele interessante, aber auch verwirrende Momente bescherte beispielsweise die Lektion „Wegbeschreibung“. Da wollte eine Person vom Bahnhof zur Altstadt, landete aber im Krankenhaus, oder verlief sich gleich im nahegelegenen Wald. Doch von diesen Problemen ließen wir uns nicht abschrecken, sondern leiteten sogleich das neue Thema „Worst Cases“ ein. Was tun wir zum Beispiel, wenn wir uns verlaufen, überfallen werden, oder den Bus verpassen? Oder, noch schlimmer, wie verhalten wir uns, sollten wir gekidnappt werden? Schließlich setzten wir uns auch mit der Frage auseinander, was wir tun, wenn unser Leben in Italien ein jähes und frühzeitiges Ende findet (wobei, wie wir schnell feststellten, wir dann nichts mehr tun...).

Aber auch die italienische Kultur sollte nicht zu kurz kommen. Essen Italiener tatsächlich immer Spaghetti? Warum gestikulieren sie beim Reden immer? Und warum wählen sie Berlusconi? Dazu gehörte es auch, sich mit gegenseitigen Vorurteilen auseinanderzusetzen. Hier entstanden spannende Diskussionen, die den Kurs bereicherten.

### 7.13 Spieltheorie

Leitung: Birthe Anne Wiegand  
Bericht: Marc Goßmann

Ein *Spiel* - das ist aus spieltheoretischer Sicht eine Menge von Entscheidungssituationen einzelner sich rational verhaltender Teilnehmer - der *Spieler*.

Wir beschäftigten uns zunächst mit strategischen Spielen, kombinatorischen Spielen und Glücksspielen. Besonderer Fokus lag hierbei auf ersteren, wir untersuchten zum Beispiel das Gefangenens- und Urlauberdilemma sowie das Ziegenproblem. Dabei ginge es in erster Linie darum, wie man sich in solchen Spielen am besten Verhalten sollte; Anhaltspunkte fanden wir etwa durch die Untersuchung des *Nash-Gleichgewichts* und *Pareto-Optimums*.

Nach diesem ausführlichen theoretischen Teil gingen wir zum praktischen Teil mit Kartenspielen über. Angefangen haben wir mit Mau - einem Spiel, bei dem es darum geht, sich die Regeln während des Spieles zu erschließen. Wer allerdings gegen (auch ihm noch unbekannt) Regeln verstößt oder über sie redet, muss Strafkarten ziehen! Nach kleineren bekannteren Spielen, bei denen wir ebenfalls versuchten, optimale Strategien zu entwickeln, gingen wir zu Skat über, was uns über die letzten Tage fast ausschließlich beschäftigte.

Insgesamt war die Spieltheorie eine spannende KüA, in der Theorie und Praxis kombiniert wurden und alle viel Spaß hatten.

### 7.14 Akademiezeitung

Leitung und Bericht: Fabian Angeloni

Auch dieses Jahr durfte die Akademiezeitung als kursübergreifende Aktivität nicht fehlen. Mit einem elfköpfigen Redaktionsteam entstand täglich eine Zeitungsausgabe, die jeden Abend von den Akademie Teilnehmern mit Spannung erwartet wurde. 90 Minuten reichten uns, um uns über mögliche Themen zu beraten, die Artikel zu schreiben, gegenzulesen und zu layouten, um eine vier- bis sechssseitige Ausgabe herauszugeben. Wenn die Zeit dann mal doch nicht reichte, so war immer jemand bereit einen Teil seiner Freizeit und damit anschließenden Mahlzeit zu opfern. Die BURG (als satirischer Gegenentwurf zu einer bekannten Tageszeitung) bot dem Leser eine Mischung aus Berichterstattung über das Burg- und Kursgeschehen, Zitaten, aktuellen Trends und Rätseln. All das natürlich stets gepaart mit Humor und Ironie, sodass in der Redaktion trotz der ernsthafter und motivierten Arbeitshaltung immer ein angenehmes Klima herrschte. Aber auch die Grundlagen durften nicht fehlen: Was ist Journalismus und was nicht? Diese Frage beschäftigte uns eine ganze Sitzung, in der wir versuchten, Grenzen des Journalismus abzustecken und eine Definition zu finden.

## 8 Interdisziplinäre Vorträge

Wie jedes Jahr war auch auf der Hessischen Schülerakademie 2011 das Abendprogramm sehr abwechslungsreich. Dabei standen manchmal Spaß und Spiel im Vordergrund (etwa mit selbstgemachtem Eis oder Gemeinschaftsspiel-Runden), es gab einen Studien-Informations-Abend mit persönlicher Beratung durch die Kursleiter und -betreuer, an anderen Tagen wiederum ging es mehr um Weiterbildung und Diskussion. Dabei seien zwei Abende besonders hervorgehoben, an denen interdisziplinäre Vorträge gehalten wurden - einer von Musik, der andere durch die Mathematik inspiriert.

### 8.1 Musik nach 1900 und Improvisation

Vortragender: Wolfgang Metzler

Aus den Berichten meiner Eltern- und Großelterngeneration ist mir in Erinnerung, dass eine Hauptunterscheidung zwischen Musikern um 1900 diejenige zwischen *Wagnerianern* und *Brahmsanhängern* war, zwischen denen, für die eine quasi-religiöse programmatische Inhaltlichkeit wesentlich zu Musik gehörte, und den anderen, die sich für absolute Musik einsetzten. Spätestens um die Jahrhundertwende wurde das Bild deutlich bunter: Die Länder am Rande Mitteleuropas besannen sich auf ihre nationalen Identitäten und schmolzen ihre kulturellen Traditionen nicht mehr lediglich als Exotika in einen Mainstream ein. Wie z.B. *Béla Bartók* entwickelten sie eine national gefärbte neue Musik, die auf internationale Wahrnehmung drängte und Mitteleuropa verstörte. Aus afrikanischen, europäischen und nordamerikanischen Elementen entstand in einer spannenden kulturellen Wanderung der Jazz, welcher durch seine vielfältigen Formen und Wirkungen wohl die stärkste musikalische Kraft des 20. Jahrhunderts geworden ist.

Der bürgerlichen Musik des deutschen Kaiserreiches setzte sich eine mit Klampfe auf Fahrt gehende Jugendbewegung entgegen, in der zeitweilig diskutiert wurde, ob ein geschultes Singen überhaupt erstrebenswert sei und ob das Klavier als technisiertes Instrument akzeptiert werden könne. Auf die eingangs genannte quasi-religiöse Gefühllichkeit antworteten auch Komponisten in den 20er Jahren mit holzschnittartiger Handwerksgesinnung. Diesbezüglich sei *Igor Strawinskij* [5] zitiert:

*„Inspiration, Kunst, Künstler - das sind zumindest recht verwirrende Worte. Sie hindern uns, klar zu sehen in einem Bereich, in dem alles Ausgleich und Berechnung ist und in dem der Atem des spekulativen Geistes weht. Danach, und wirklich erst danach, entsteht jene Gefühlsregung, die der Inspiration zugrunde liegt.“*

Polar dazu wurde allerdings auch die differenzierte Harmonik der Spätromantik weiterentwickelt (z. B. von *Richard Strauss*) und/oder die Emanzipation der Dissonanz bis zur Auflösung der Tonalität geführt (*Arnold Schönberg* und seine Schule).

Diese musikalische Vielfalt führt bis heute zu Wahrnehmungsschwierigkeiten und wurde begleitet (nicht nur ausgelöst) durch die kulturellen Erschütterungen des 1. Weltkriegs. In der Weimarer Republik entstand aus der (musikalischen) Jugendbewegung und durch Impulse anderer europäischer Länder eine Volksbildungsbewegung, die von Laien bis zu jeweiligen Spezialisten ein demokratisches Bildungskonzept zu verwirklichen suchte. *Werner Heisenberg* berichtet in seinen Erinnerungen [3] davon. *Max Born* versuchte um 1920, einen allgemeinen Hörerkreis in Physik bis zur Relativitätstheorie zu führen [1]. *Richard Courant* entwickelte in Göttingen seine (hochschul-)didaktischen Prinzipien, die dem von uns bei den Schülerakademien immer wieder benutzten Buch „Was ist Mathematik?“ [2] zugrunde liegen. *Fritz Jöde* und der Musikreferent im preußischen Kultusministerium, *Leo Kestenberg*, arbeiteten an einem musikalischen Bildungskonzept, welches Laienzugänge zu anspruchsvoller Musik zum Ziel hatte. Als sich im Nationalsozialismus Volksbildung zu völkischer Verdummung wandelte, mussten Born,

Courant und Kestenberg als Juden jedoch emigrieren, ebenso die meisten jüdischen Musiker. Vertreter verschiedener musikalischer Strömungen intrigierten über Parteiverbindungen gegeneinander. Internationale Kontakte rissen ab, und Entwicklungen konnten erst nach dem 2. Weltkrieg wieder aufgenommen werden, als z. B. Jazz und Neue Musik wieder möglich waren. Bezüglich evangelischer Kirchenmusik sei hier auf die kürzlich erschienene ausgezeichnete Darstellung [6] von *Roman Summereder* hingewiesen.

Nach einer problematischen Phase des pädagogischen Versuchs, die musikalische Jugendbewegung in ihrer vor 1933 entwickelten Form fortzuführen, kann es erst jetzt gelingen, eine Singkultur zu realisieren, welche die Deformationen durch die beiden Diktaturen in Deutschland bewältigt, soweit das überhaupt möglich (und statthaft) ist.

Die Praxis öffentlicher musikalischer **Improvisation**, welche in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Westeuropa noch üblich war, hatte sich in Deutschland um 1900 weitgehend verflüchtigt bis auf Freiheiten, die sich bekanntere Interpreten bis zum Aufkommen der Schallplatte gestatteten. In Frankreich bestand hingegen die Tradition öffentlichen Improvisierens bei Orgelkonzerten. Mit der Volksmusik anderer Länder und ihrer pädagogischen und künstlerischen Wirkung in Mitteleuropa rückten solistische und gemeinsame musikalische Improvisation wieder in das öffentliche Bewusstsein. Während in der Schönberg-Nachfolge nach dem 2. Weltkrieg möglichst viele musikalische Parameter von der einem Stück zugrunde liegenden Reihe bestimmt wurden („serielle Musik“), wurden in postseriellen Konzepten Klangfarben, Zufall und improvisatorische Elemente (wieder) wichtig. Der musikalische Fortschritt läuft nicht linear vom spontanen Musizieren zur festgelegten Komposition. Rhythmische Improvisation kann z. B. einen Komplexitätsgrad enthalten, der nicht notierbar ist, ohne Elemente der Planung überflüssig zu machen.

Musikalische Improvisation kann therapeutische, pädagogische und künstlerische Ziele haben. Diese hängen miteinander zusammen, dürfen aber nicht verwechselt werden. Laien in einer Improvisationsgruppe verhindern Betriebsblindheit von „Profis“. Es sollte allerdings jemand vertreten sein, der die Ergebnisse musikalisch analysieren kann.

Improvisation ist nicht nur in Musik aktuell. In den meisten Berufen treten heute Aufgaben auf, die außer den in einer Ausbildung erworbenen Fertigkeiten unerwartete Wendungen jenseits von Routine verlangen. Planungselemente und Improvisationsfähigkeit durchdringen sich in solchen Prozessen. Improvisation ist dabei nicht ein undurchdachter Plan B für den Fall, dass man mit der Planung Schiffbruch erlitten hat. Die gemischten Fähigkeiten dürfen nicht nur von Spitzenforschern und höheren Entscheidungsträgern erwartet und für sie reserviert werden, sondern sind auf allen Ebenen notwendig, z. B. im pädagogischen Alltag, um auf Schülerbeiträge wirklich eingehen zu können.

Nicht nur spätere BerufsmusikerInnen benötigen eine (diesbezügliche) musikalische Allgemeinbildung, sondern es ist hinreichend viel Energie für Alle zu ermöglichen. Ein (elementares) Curriculum ist vonnöten, welches musikalisch-kulturelle Identität entwickelt und dabei die Offenheit für Musik nach 1900 in ihrer Vielfalt nicht verbaut. Wenn wir das „Andere“ über der eigenen Identität nicht rechtzeitig in den Blick bekommen, sind fatale politische Konsequenzen vorprogrammiert. Wir dürfen nicht hinter die Aufklärung zurückfallen [4]!

(Der Vortrag war von Musikbeispielen begleitet.)

### Literatur

- [1] Max Born: *Die Relativitätstheorie Einsteins*, Springer-Verlag, Berlin
- [2] Richard Courant und Herbert Robbins: *Was ist Mathematik?*, Springer-Verlag, Berlin
- [3] Werner Heisenberg: *Der Teil und das Ganze*, Piper-Verlag, München
- [4] Wolfgang Metzler: *Begabtenförderung und Lehrer(aus)bildung*, in: Schenz, Rosebrock, Soff: *Von der Begabtenförderung zur Begabungsgestaltung*, Lit-Verlag, Berlin
- [5] Igor Strawinskij: *Musikalische Poetik*, Schott-Verlag, Mainz
- [6] Roman Summereder: *„...als gingen uns jetzt erst die Ohren auf“: Helmut Bornefeld, Siegfried Reda und die Heidenheimer Arbeitstage für Neue Kirchenmusik*, Strube-Verlag, München

## 8.2 Mathematik - Eine alte Wissenschaft mit Zukunft

Vortragender: Amir Džambić

Nahezu jede Wissenschaft muss sich mit dem öffentlichen Bild ihrer selbst auseinandersetzen. Diese Bilder sind oft unpassend und spiegeln nicht den wahren Wissensstand der jeweiligen Institution wider. Die öffentlichen Vorurteile haben verschiedene Ausprägungen. Manche Wissenschaften, wie etwa Geschichts- oder Gesellschaftswissenschaften, müssen darum kämpfen, als solche überhaupt öffentlich annerkant zu werden. Allzu oft besteht der öffentliche Zweifel am Wahrheitsgehalt ihrer Ergebnisse, weil man das Gefühl hat, selbst etwas zum Thema sagen zu können, ohne die verwirrenden wissenschaftlichen Methoden anwenden zu müssen. Andererseits traut man anderen Wissenschaften, wie etwa den technischen Wissenschaften, Medizin oder gar Wirtschaftswissenschaften mehr zu, als sie vielleicht tatsächlich in der Lage sind zu leisten. Hier vermischt sich im öffentlichen Bild die Forschung mit dem Science-Fiction der Filmindustrie, und man erwartet Wunder, die die Wissenschaft nicht in der Lage ist zu leisten.

Auch Mathematik muss mit Vorurteilen kämpfen. Hier scheint sich aber oft eine andere öffentliche Wahrnehmung durchzusetzen: „Ich weiß nicht, was sie tun, und ich will es auch nicht wissen“ oder „Mit Mathe konnte man mich in der Schule jagen“ könnten die ersten spontanen Reaktionen auf Mathematik sein. Merkwürdigerweise sind solche oder ähnliche Aussagen nicht nur aus dem Munde schlechter Schüler zu hören, sondern können auch von Intellektuellen stammen. Sie drücken im besten Fall die Gleichgültigkeit und im schlimmsten Fall die Abneigung gegenüber der Mathematik aus. Mir scheint es so, als würde die Mathematik für eine durchrationalisierte, kompliziert von Zahlen beherrschte undurchsichtige Welt, die scheinbar keinen Platz für freies Denken lässt, verantwortlich gemacht. Das aus der Schule gebliebene Gefühl, von den Regeln eingeengt und eingeschlossen zu sein, überwiegt wohl bei den Gedanken an Mathematik. Die kleine Minderheit der Mathematiker - meistens sind es die Mathe-Lehrer, die man als Vergleichsmaterial heranzieht -, die sich anscheinend in diesem Gefängnis wohl fühlen, beobachtet man verständnislos und bemitleidet sie in ihrem weltfremden Dasein. Geradezu antipodal zu dieser Einstellung kann man die Position der Künstler in der Öffentlichkeit beschreiben. Diese Querköpfe widersetzen sich den Regeln, sind kreativ und eröffnen uns neue Perspektiven. Oft versteht man ihre Werke, wie auch die der Mathematiker, nicht genau, aber man bewundert sie für ihre Offenheit und das Übertreten der Grenzen zu den neuen Welten.

Natürlich bin ich als Mathematiker mit dem eben beschriebenen Bild dieser Wissenschaft nicht einverstanden. Immerhin stellt es eine Degradierung einer der (wenn nicht *der*) ältesten Wissenschaften überhaupt dar, die ein integraler Bestandteil nahezu aller Zivilisationen ist.

Dieses falsche Bild der Mathematik kann nur dadurch entzerrt werden, dass man immer wieder deutlich macht, dass Mathematik mehr ist als Manipulieren von Zahlen und Gleichungen. Man muss deutlich zugeben, dass Mathematik abstrakt ist, und dass das auch gut so ist, dass sie eine Geisteswissenschaft ist, und zwar die reinste aller solchen, und dass das genau ihre Stärke ist, die sie von allen anderen Wissenschaften abhebt. Sie ist in erster Linie unserem Geist Rechenschaft schuldig, lediglich von den geistigen Gesetzen der Logik bedingt und deswegen universeller als jede andere Wissenschaft und Erkenntnisform. Man sollte versuchen, die Mathematik auch einmal aus einer anderen Perspektive zu sehen, sie einmal nicht bei den Naturwissenschaften und den technischen Wissenschaften einzureihen, sondern einen ernsten Vergleich zu der Kunst wagen. Der Mathematiker ist nicht weniger frei als ein Künstler, wenn er eine neue Theorie schafft. Wie diese Welt aussehen soll, entscheiden ästhetische Kriterien wie Klarheit, Einfachheit, oder das Verhältnis zu dem bereits bestehenden mathematischen

Gebäude. Über den Nutzen für die Allgemeinheit macht sich der Mathematiker an erster Stelle keine Gedanken. Aber früher oder später - das ist eine ungeschriebene Regel - profitieren die Menschen von dessen Erkenntnissen. Die Welt der Computer und des Internets blüht nicht zuletzt dank tiefer Erkenntnisse der Zahlentheorie und Geometrie, die man noch bis vor ein paar Jahren als nutzlos abgestempelt hätte. Wenn man Mathematik treiben will, dann muss man sich von den Ketten der Anschauung und der Nützlichkeit lösen. Dies sind Voraussetzungen für die Erschließung neuer Welten. Die Millenniumsprobleme - sechs offene Probleme, an denen sich die mathematische Forschung der Zukunft orientieren soll - kann man nur aus diesem Blickwinkel passend würdigen. Die Riemannsche Vermutung, die nach der Lage der Nullstellen der Riemannschen Zetafunktion fragt, hatte bei ihrer Formulierung vor mehr als hundert Jahren nichts anderes im Blick, als dem Wesen der Primzahlen näher zu kommen. Heute wissen wir, dass sie auch etwas über die Sicherheit im Internetverkehr aussagt. Von anderen dieser Probleme, wie etwa der Hodge-Vermutung, haben wir keine klare Vorstellung von den Anwendungen in der „wirklichen Welt“. Aber das macht sie nicht weniger bedeutsam. Auch die Mathematiker, die hinter den Theorien stehen, scheinen alles andere als unglücklich eingesperrt zu sein. Sie haben oft mehr zu sagen als man ihnen zutraut. Und ihre Arbeit auch. Mein Vortrag sollte ein Plädoyer für einen Blick in diese Wissenschaft sein. Dieser Blick lohnt auf jeden Fall. Wenn nicht mehr, dann hilft er, so wie der Blick auf manch ein Kunstwerk, unseren kritischen Verstand zu schärfen.

## 9 Gästenachmittag

### Programm des Gästenachmittags

15 Uhr

Gemeinsames Kaffeetrinken

16 Uhr

gemeinsamer Kanon

Begrüßung

#### Präsentationen

Physik: Geometrische und Wellenoptik

Geschichte von den Grenzen

Biologie: Nervenzellen und Ionenkanäle

Mathematik: Zahlentheorie und die moderne Informationsgesellschaft

\*\*\*

Kammermusik

Chorwerkstatt

Yoga

Jazztanz

Naturkunde

Kontratanz

18:30 - 20:00 Uhr

Gemeinsames Abendessen

20:00 Uhr

English Theatre „Canterville Ghost“

Im Anschluss fand ein geselliger Ausklang des Tages statt.

Im Raum „Marstall“ gegenüber der Halle war eine Ausstellung zu besichtigen:

Akademiezeitung „BURG“

Akademie-Fotoshow

Presseecho

Sport-Bilderschau

Spiel-küA

## 10 Pressebericht

### Physik und Mathematik in den Ferien

Sebastian Pötzl, Hünfelder Zeitung  
8. August 2011

(...) „In der Neurobiologie beschäftigten wir uns unter anderem mit Nervenzellen und dem Zustandekommen von Motivation eines Individuums“, erzählt Kursleiter Professor Dr. Paul Dierkes. Unterstützung erhielten die Dozenten durch Lehramtsstudierende der jeweiligen Fachgebiete. „Es entstehen somit nicht nur Lernerfolge auf der Seite der teilnehmenden Schüler, sondern auch bei den angehenden Lehrkräften“, erklärt Dr. Cynthia Hog-Angeloni, die die Akademie gemeinsam mit Professor Dr. Wolfgang Metzler, beide Dozenten an der Goethe-Universität Frankfurt, leitet und organisiert. Die Schüler seien mit Herzblut und höchstem Engagement bei der Sache gewesen, berichtet die Lehramtsstudentin Saskia Wiesner. „Bei den vielen Nachfragen der Schüler, auch nach den Kursen, stößt man schon das ein oder andere Mal an seine eigenen Wissensgrenzen“, so die 25-Jährige. (...)

Am Ende der zwei Wochen stellten die 42 Teilnehmer gemeinsam mit ihren Betreuern die Arbeitsergebnisse vor. Eltern, Bekannte, Freunde und Ehemalige waren auf die Burg gekommen, um sich in einer zweieinhalbstündigen Veranstaltung durch die Welt der Biologie, Mathematik, Physik und Geschichte führen zu lassen. Dabei erklärten die Jugendlichen beispielsweise im Fach Physik die Funktionsweise von Glasfasern mit Hilfe von anschaulichen Beispielen. Die Kursteilnehmer der Geschichtswissenschaften illustrierten ihre Ergebnisse anhand eines Rollenspiels und die Schüler der Jazztanzgruppe stellten ihr Rhythmusgefühl und ihre Körperbeherrschung unter Beweis.

Eine ähnliche Veranstaltung für begabte und interessierte Jugendliche der Mittelstufe findet im Oktober dieses Jahres auf Burg Fürsteneck statt. (...)

### Lernen statt Strandurlaub

Jan-C. Eisenberg, Hersfelder Zeitung  
3. August 2011

(...) Zwischen vier unterschiedlichen Fächern konnten die Teilnehmer wählen. Eines davon ist Physik. Die Werkstatt der Burg Fürsteneck, in der sonst die Hessische Heimvolkshochschule kunsthandwerkliche Seminare anbietet, wurde dafür zum Physiksaal umfunktioniert. Ein ganzer Lastwagen voller Material für Versuchsanordnungen sei von Frankfurt aus auf die Burg gebracht worden, berichtet Kursleiter Professor Dr. Wolf Aßmus. Im Physikkurs geht es um die vielfältigen Phänomene der Optik, gerade haben die Schüler und ihre Betreuer ein Michelson-Interferometer aufgebaut.

Einige Türen und Treppenstufen entfernt diskutiert der Geschichtskurs am Beispiel des Filmes „Königreich der Himmel“ verschiedene Aspekte von Authentizität. „Geschichte von den Grenzen“ - so lautet der Titel des Seminars, welches sich etwa mit der Abgrenzung der Geschichtswissenschaft zu anderen Disziplinen und mit den Leistungsgrenzen des Faches beschäftigt.

Eine angeregte Diskussion entfaltet sich auch im Mathematik-Kurs. Darüber nämlich, wie die Ergebnisse des Themas Kryptologie, also der Nachrichtenverschlüsselung mit Hilfe der Zahlentheorie, beim Besuchertag in ansprechender Form präsentiert werden. Und bei den Biologen, die sich mit Nervenzellen befassen, steht gerade ein Vortrag auf dem Programm.

Mit den von ihnen gewählten Schwerpunktthemen haben sich die Schüler nicht erst bei der Ankunft in dem historischen Gemäuer vertraut gemacht. „Die Teilnehmer bereiten vorab Referate vor“, erklärt der Assistent der Akademieleitung, Fabian Angeloni. Unterstützt würden sie dabei von den Lehramtsstudierenden, die für den Aufbau der Kurse verantwortlich sind. (...)

## 11 Auszüge aus Abschlussberichten

### Studierende

Was die HSAKA genau ist und was von einem als Betreuer wirklich gefordert wird, das wird einem erst richtig im zweiten Teil der Vorbereitungswoche auf der Burg deutlich, wenn der straffe Zeitplan erläutert wird. An dieser Stelle stellt sich die Frage: „Wären 5 Wochen Schule nicht doch weniger anstrengend gewesen?“ - Vielleicht ja, aber mit Sicherheit auch langweiliger. (...) Wirklich interessierten SchülerInnen sollte es nicht verwehrt werden, an der HSAKA teilzunehmen, nur weil die schulischen Noten nicht für einen Überflieger sprechen. Eine solche Schülerin hielt dann nämlich einen spitzenmäßigen Vortrag. (Marie-Therese Reuter)

Ebenso habe ich gelernt, dass es Schülerfragen gibt, die man einfach nicht sofort beantworten kann, auch wenn man mit seinem Studium schon fertig ist. Auch als Lehrerin wird mir dies sicher passieren. Sich jetzt schon daran zu gewöhnen, ist bestimmt eine positive Erfahrung. Wir Studenten haben während der HSAKA-Zeit gemeinsam mit den Schülern gelernt, fast auf gleicher Ebene. (Anna Lisa Eckes)

Mir wurde deutlich, dass es eine vollkommen homogene Gruppe weder im Schulalltag noch bei der Schülerakademie geben kann. Die Arbeit mit den motivierten und vorbereiteten Schülern war sehr angenehm und intensiv und machte Freude auf den Schulalltag, in welchem diese motivierten Schüler ebenfalls zu finden sind. (...) Die Vorbereitung auf die Akademie 2012, so ich denn dabei sein kann, wird leichter zu bewältigen sein, da ich von der Arbeitsintensität nicht überrascht sein werde.

(Sonja Kruse)

Am Abschlussabend und am darauffolgenden Elternnachmittag überraschte mich vor allem die Kreativität der einzelnen Kurse, die es schafften, zunächst doch fachlich beladene Themen so zu gestalten, dass Außenstehende einen guten Einblick in die Arbeit der zwei Wochen bekamen, etwas verstanden und trotzdem noch unterhalten wurden.

(Saskia Groh)

Die Arbeit mit unmotivierten Schülern ist primär geprägt von einseitigem Einwirken von Seiten des Lehrers/Betreuers (Motivieren, Erklären, Fördern, Mahnen etc.). Die Schülerakademie dagegen war geprägt von Interaktion zwischen Schüler und Betreuer. Motivieren und mahnen war kaum nötig. Stattdessen erwarteten die Schüler von ihren Betreuern, sie immer mehr zu fordern. (...) Häufig ist es meiner Erfahrung nach nämlich eher so, dass interessierte Schüler (auch von ihren Lehrern!) als übereifrig abgetan und dazu angehalten werden, sich doch zurückzuhalten.

(Alexandra Walter)

Interessant für mich war auch, zu erleben, welchen Einfluss der Aufenthalt auf der Burg auf die Schüler hat. Etliche Teilnehmer erzählten mir im Laufe der Akademie, sie freuten sich bereits das ganze Jahr über auf die nächste HSAKA und fieberten ihr Wochen vorher schon entgegen.

(Mathias Wagenhoff)

Erstaunt hat mich persönlich die Beobachtung, dass die Schüler trotz des straffen Zeitplans auf der Akademie in ihrer wenigen Freizeit freiwillig noch weiter an den Planspielen arbeiteten. Diese unermüdlige Motivation war unglaublich.

(Saskia Wiesner)

Auch für Studenten, die kein Staatsexamen und keinen Bachelor of Education anstreben ist die Mitarbeit bei der Schülerakademie eine prägende Erfahrung, da Kompetenzen im Umgang mit größeren Lerngruppen und in der effektiven Wissensvermittlung erworben werden können.

(Sascha Planz)

Für mich war die Hessische Schülerakademie 2011 eine eindrucksvolle Erfahrung. Ich habe die Gelegenheit bekommen, Jugendarbeit auf eine neue Art und Weise kennen zu lernen. Die Arbeit im Akademie-Team war nicht immer einfach, hat viel Engagement und Energie gefordert. Meine bisherige Freizeiterfahrung half mir dabei, die intensive Zeit auf der Burg Fürsteneck für mich gewinnbringend zu gestalten. Ich habe aus spannenden Diskussionen im Geschichtskurs viel gelernt und beeindruckende Begegnungen mit ganz unterschiedlichen Persönlichkeiten gehabt. Echter Teamgeist und Freundschaft sind daraus entstanden. Die Arbeit mit motivierten Schülerinnen und Schülern hat mir großen Spaß gemacht. Es war in gleicher Weise aufreibend und anregend, die Möglichkeit zu haben, sich so umfassend mit einem Thema zu beschäftigen. Ich komme gerne zurück zur Burg. (Anna Burgdorf)

Zusammenfassend ist die HSAKA eine sehr gelungene Veranstaltung, die interessierte Schülerinnen und Schüler fördert und es ihnen ermöglicht, Kontakte zu Gleichgesinnten zu knüpfen. Daher hoffe ich, dass die HSAKA auf lange Zeit erhalten bleibt. (Maike Drawing)

### Schüler

Bei mir war es schon echt 'ne Umstellung von der Akademie wieder auf die Schule. Mir fehlen die Leute, aber man kann ja zum Glück gut Kontakt halten, und mir fehlt auch das Programm, also die Kurse und das Kursübergreifende. Ich fand die lockere Atmosphäre echt erfrischend und motivierend. (...) Ich würde mich auch gerne schon mal mit dem Stoff vom ersten Semester beschäftigen. Gibt es denn Bücher, die Du dafür empfehlen kannst? (Marc Goßmann)

## 12 Teilnehmende

### 12.1 Leitung

Prof. Dr.	Wolf	Aßmus	Physik
	Ingrid	Baumann-Metzler	Englisches Theater
Prof. Dr.	Paul	Dierkes	Biologie
	Dr. Amir	Džambic	Mathematik
	Dr. Peter	Gorzolla	Geschichte
	Dr. Cynthia	Hog-Angeloni	Mathematik/Gesamtleitung
	Dr. Guido	Klees	Biologie
Prof. Dr.	Wolfgang	Metzler	Musik/Gesamtleitung
	Saskia	Quené	Musik/Kontratanz
	Frank	Schaun	Physik

### 12.2 Studierende

Katja	Alt	Geschichte	Sascha	Planz	Biologie
Fabian	Angeloni	Kursübergreifendes	Marie-Therese	Reuter	Biologie
Anna-Katharina	Burgdorf	Geschichte	Beate	Schimko	Kursübergreifendes
Alexander	Dick	Physik	Mathias	Wagenhoff	Biologie
Maike	Drewing	Physik	Christopher	Wagner	Physik
Anna Lisa	Eckes	Biologie	Alexandra	Walter	Mathematik
Saskia	Groh	Mathematik	Katharina	Weislogel	Biologie
Volker	Kehl	Geschichte	Birthe Anne	Wiegand	Mathematik
Sonja	Kruse	Geschichte	Saskia	Wiesner	Biologie
Vera	Meyer	Mathematik			

### 12.3 Schülerinnen und Schüler

Gregor	Angeloni	Mathematik	Samira	Hook	Mathematik
Dennis	Bepler	Geschichte	Yorck	Kessler	Geschichte
Christoph	Bläser	Mathematik	Christoph	Kreiss	Biologie
Tobias	Blum	Physik	Bianca	Kühnel	Physik
Simon	Bodenschatz	Mathematik	Johanna	Leyhe	Geschichte
Alina	Braun	Mathematik	Katharina	Löw	Biologie
Ann-Katrin	Brunner	Biologie	Antje	Loyal	Geschichte
Johanna	Bube	Biologie	Thomas	Maetz	Physik
Johannes	Bulle	Geschichte	Frederik	Mankel	Physik
Karim	El Salim	Mathematik	Julian	Moxter	Physik
Maximilian	Erhard	Geschichte	Miriam	Müller	Physik
Jan Xaver	Fulde	Geschichte	Philipp	Risius	Physik
Sebastian	Gallus	Mathematik	Martin	Roggenbuck	Biologie
Tobias	Gehl	Physik	Nadin	Sarajlic	Biologie
Maxim	Gerspach	Mathematik	Saskia Helena	Schomber	Geschichte
Marc	Goßmann	Mathematik	Franziska	Schydlo	Biologie
Daniel	Grohé	Physik	Leon	Strauss	Mathematik
Hannes	Güdelhöfer	Physik	David	Twardella	Geschichte
Jessica	Hedderich	Physik	Rebecca	Veit	Biologie
Mischa	Holz	Mathematik	Julia	Zaenker	Biologie